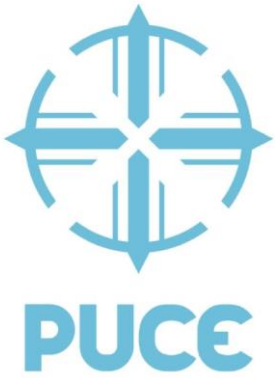
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Titulación

Tema: “Verificación de la mezcla asfáltica para la rehabilitación de las vías en el Distrito Metropolitano de Quito”

Autor:

Andrés Sebastián Guerrero Hermosa

QUITO DM, ABRIL DE 2021

Hoja De Legalización

Elaborado Por:

_____

Andrés Sebastián Guerrero Hermosa

Director De Tesis:

_____

Ing. Gustavo Yánez

Lectores De Tesis:

_____

Ing. Wilson Cando

_____

Ing. Ramiro Erazo

Quito – Ecuador 2021

Declaración De Responsabilidad

Andrés Sebastián Guerrero Hermosa

Declaro que:

El trabajo de disertación **"Verificación de la mezcla asfáltica para la rehabilitación de las vías en el Distrito Metropolitano de Quito"**, ha sido desarrollado con base en una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del proyecto de disertación en mención.

Quito – Ecuador 2021

_____

Andrés Sebastián Guerrero Hermosa

Agradecimiento

A Dios por darme la vida y brindarme la oportunidad de tener un nuevo amanecer cada día, por cuidarme y colmarme de bendiciones. Siendo el mí maestro que me enseño que no siempre se gana y que incluso de los errores o de las peores situaciones se puede ver un lado positivo y tener un gran aprendizaje, que nunca debo darme por vencido porque tengo un papel y un propósito en este mundo suyo.

A mi Familia por todo su amor, su entrega y su gran ejemplo, que inculcaron en mi los principios y los valores necesarios para ser una gran persona. Por todo el apoyo y esfuerzo que han puesto en mí para darme siempre lo mejor y que nunca me falte nada, sea material o espiritual. Y sobre todo enseñarme que juntos podemos superar cualquier obstáculo que la vida nos ponga.

A mis Amigos y Compañeros desde la escuela, colegio y universidad por haberme dado el regalo de una gran y bonita amistad que dura al pasar de los años, siendo uno de los pilares para poder siempre superarme y nunca quedarme rezagado sino más bien avanzar siempre para adelante y aspirar a ser uno de los mejores tanto en ámbitos profesionales como personales.

A mis Maestros desde la escuela, colegio y universidad por siempre darme lo mejor de cada uno de ellos y ayudarme a crecer en conocimiento y sabiduría para ser una persona útil en la sociedad y poder ayudar al resto, siempre pensando en el bienestar de todos y no solo el mío. Por inculcarme lo necesario para llegar a ser una persona de bien.

A todos y cada uno espero hacer que se sientan orgullos de la persona que soy porque gracias a todos soy y espero ser siempre un orgullo y un ejemplo para futuras generaciones.

Resumen

En este trabajo de disertación de Ingeniería Civil se empleó un proceso de investigación sistemática a partir de la evaluación, clasificación y calificación de muestras asfálticas usadas para la rehabilitación en el Distrito Metropolitano de Quito, acercándose a metodologías cuantitativas y cualitativas donde se pretende abordar los problemas que afronta la ciudad con respecto a fallas en el pavimento como son los Baches. Para posteriormente analizar posibles causas por las que se generan y por qué no se las puede dar una solución efectiva.

La investigación se realiza a la mezcla asfáltica caliente de la EPMMOP que es una empresa pública de la ciudad la cual tiene como parte de sus funciones garantizar una mezcla adecuada referente a su calidad que satisfaga los requerimientos de la población. Y a la mezcla asfáltica fría de CHOVA que es una empresa privada la cual ofrece un camino alterno para los habitantes de la ciudad en cuanto a productos asfalticos.

De igual manera el objetivo de este trabajo de investigación es poder dar soluciones o recomendaciones a la ciudadanía para poder hacer una elección adecuada basada en sus necesidades de esta manera logrando proveer satisfacción y calidad de convivencia en la ciudad y sus alrededores.

No obstante no se abordaran temas de conflicto entre ambas empresas que puedan generar problemas o confusión de otros aspectos como difamar o criticar sus métodos de trabajo, diseño, construcción, administración, etc.

Summary

In this civil engineering dissertation paper, we used a systematic research procedure based on assessing, categorizing and rating asphalt samples used in the Metropolitan District of Quito. We approached quantitative and qualitative methodologies in order to address the problem the city faces relating to pavement defects such as potholes. Subsequently, we shall examine possible causes of potholes and reasons that an effective solution cannot be found.

The research is carried out on hot asphalt belonging to the city's mobility and public works company, EPMMOP, which, as part of its responsibilities, guarantees a suitable mix in terms of quality to satisfy the needs of the populace, as well as on the cold asphalt mix from Chova, a private company offering the city's residents an alternative in asphalt products.

Likewise, the goal of this paper is to afford citizens with solutions or recommendations in order to make a fitting choice based on their needs so as to deliver satisfaction and quality of life in the city and its surrounding areas.

Nevertheless, we shall not address matters of conflict between the two companies that may create difficulties or misunderstanding in other areas such slandering or disparaging each other's work, design, construction management, etc.

Tabla De Contenidos

Agradecimiento III
Resumen IV
Summary V
1. Planteamiento Del Problema XII
2. Objetivos XIII
Objetivo General XIII
Objetivos Específicos XIII
3. Justificación XIV
4. Introducción 1
5. Alcance 2
6. Marco Teórico 3
Capítulo 1 3
1.1 Pavimentos 3
1.2 Sub Rasante 4
1.3 Sub Base 5
1.4 Base 7
1.5 Capa de Rodadura 11
1.6 Tipos De Pavimentos 13
1.6.1 Pavimento Flexible 13
1.6.1.1 Funciones del Pavimento Flexible 14
1.6.1.1.1 Sub Base 14
1.6.1.1.2 Base 15
1.6.1.1.3 Carpeta 15
1.6.1.2 Ventajas y Desventajas 16
1.6.1.2.1 Ventajas 16
1.6.1.2.2 Desventajas 16
1.6.1.3 Proceso Constructivo del Pavimento Flexible 16
1.6.2 Pavimento Semi Rígido 17
1.6.3 Pavimentos Rígidos 18
1.6.3.1 Funciones Del Pavimento Rígido 19

1.6.3.1.1 Sub Base 19
1.6.3.1.2 Losa De Concreto 19
1.6.3.2 Ventajas y Desventajas 20
1.6.3.2.1 Ventajas 20
1.6.3.2.2 Desventajas 20
1.6.3.3 Proceso Constructivo del Pavimento Rígido 20
1.6.4 Pavimento Articulado 21
1.6.4.1 Funciones Del Pavimento Articulado 22
1.6.4.1.1 Base 22
1.6.4.1.2 Cama De Arena 23
1.6.4.1.3 Adoquines 23
1.6.4.1.4 Sello De Arena 23
Capítulo 2 24
2.1 Mezclas Asfálticas 24
2.2 Clasificación 24
2.2.1 Fracciones de Agregado 24
2.2.2 Temperatura Puesta en Obra 25
2.2.3 Proporción de Vacíos 25
2.2.4 Tamaño Máximo del Agregado 26
2.2.5 Estructura del Agregado 26
2.2.6 Granulometría 26
2.3 Tipología de las Mezclas Asfálticas 27
2.3.1 Mezcla Asfáltica en Caliente 27
2.3.1.1 Métodos de Diseño 28
2.3.1.2 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Densa 30
2.3.1.3 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Abierta 35
2.3.1.4 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Discontinua 39
2.3.2 Mezcla Asfáltica en Frío 43
2.3.2.1 Mezcla Asfáltica Fría de Graduación Densa 44
2.3.2.2 Mezcla Asfáltica Fría de Graduación Abierta 48
Capítulo 3 51
3.1 Tipos De Fallas 51
3.1.1 Pavimento Flexible 52

3.1.1.1 Fisuras o Agrietamientos 52
3.1.1.1.1 Fisura Piel de Cocodrilo 52
3.1.1.1.2 Fisura en Bloque 54
3.1.1.1.3 Fisura en Arco 55
3.1.1.1.4 Fisura Transversal 57
3.1.1.1.5 Fisura Longitudinal 59
3.1.1.2 Deformaciones Superficiales 61
3.1.1.2.1 Ahuellamiento 61
3.1.1.2.2 Hundimiento 63
3.1.1.3 Desintegración 65
3.1.1.3.1 Bache 65
3.1.1.3.2 Peladura 67
3.1.1.3.3 Desintegración de Bordes 69
3.1.1.4 Otros Deterioros 71
3.1.1.4.1 Exudación de Asfalto 71
3.1.1.4.2 Parchados y Reparaciones 73
Capítulo 4 76
4.1 Análisis y Evaluación en el Laboratorio 76
4.2 Normas Utilizadas 76
4.2.1 Muestreo de Mezclas Asfálticas Sueltas: ASTM D 979 / AASHTO T 168 77
4.2.1.1 Alcance 77
4.2.1.2 Equipo 78
4.2.1.3 Procedimiento 78
4.2.1.4 Cálculos 79
4.2.1.5 Resultados 79
4.2.1.6 Nota 79
4.2.2 Moldeo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6926 79
4.2.2.1 Alcance 79
4.2.2.2 Equipo 80
4.2.2.3 Procedimiento 81
4.2.2.4 Cálculos 82
4.2.2.5 Resultados 82
4.2.2.6 Nota 82

4.2.3 Gravedad Especifica/Densidad de Mezclas Asfálticas-SSS (BULK): ASTM D 2726 / AASHTO T 166 82
4.2.3.1 Alcance 82
4.2.3.2 Equipo 83
4.2.3.3 Procedimiento 83
4.2.3.4 Cálculos 84
4.2.3.5 Resultados 86
4.2.3.6 Nota 88
4.2.4 Gravedad Especifica Máxima Teórica de Mezclas Asfálticas (RICE): ASTM D 2041 / AASHTO T 209 88
4.2.4.1 Alcance 88
4.2.4.2 Equipo 88
4.2.4.3 Procedimiento 89
4.2.4.4 Cálculos 91
4.2.4.5 Resultados 92
4.2.4.6 Nota 96
4.2.5 Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6927 97
4.2.5.1 Alcance 97
4.2.5.2Equipo 97
4.2.5.3 Procedimiento 97
4.2.5.4 Cálculos 98
4.2.5.5 Resultados 100
4.2.5.6 Nota 102
4.2.6 Determinación de Susceptibilidad a la Humedad de las Mezclas Asfálticas (TSR): ASTM D 4867 / AASHTO T 283 102
4.2.6.1 Alcance 102
4.2.6.2 Equipo 102
4.2.6.3 Procedimiento 103
4.2.6.4 Cálculos 104
4.2.6.5 Resultados 106
4.2.6.6 Nota 108
4.2.7 Módulo de Rigidez de Mezclas Asfálticas: BS EN 12697-26 108
4.2.7.1 Alcance 108
4.2.7.2 Equipo 108

4.2.7.3 Procedimiento 109
4.2.7.4 Cálculos 109
4.2.7.5 Resultados 110
4.2.7.6 Nota 110
4.2.8 Moldeo en Compactador Giratorio para Mezclas Asfálticas: AASHTO T 312 112
4.2.8.1 Alcance 112
4.2.8.2 Equipo 112
4.2.8.3 Procedimiento 113
4.2.8.4 Cálculos 113
4.2.8.5 Resultados 114
4.2.8.6 Nota 114
4.2.9 Extracción y Preparación de Núcleo de Mezclas Asfálticas: ASTM D 5361 114
4.2.9.1 Alcance 114
4.2.9.2 Equipo 114
4.2.9.3 Procedimiento 115
4.2.9.4 Cálculos 116
4.2.9.5 Resultados 116
4.2.9.6 Nota 116
4.2.10 Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62 116
4.2.10.1 Alcance 116
4.2.10.2 Equipo 117
4.2.10.3 Procedimiento 117
4.2.10.4 Cálculos 118
4.2.10.5 Resultados 118
4.2.10.6 Nota 123
Capítulo 5 126
5.1 Conclusiones 126
5.2 Recomendaciones 129
7. Referencias Bibliográficas 132
Anexos 134
1 Módulo de Rigidez de Mezclas Asfálticas: BS EN 12697-26 134
1.1 Mezcla Caliente 134
1.2 Mezcla Fría 145

2 Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62 149
2.1 Mezcla Caliente 149
2.1.1 Temperatura -10 °C 149
2.1.2 Temperatura 5 °C 155
2.1.3 Temperatura 25 °C 161
2.1.4 Temperatura 40 °C 167
2.1.5 Temperatura 50 °C 173
2.2 Mezcla Fría 179
2.2.1 Temperatura -10 °C 179
2.2.2 Temperatura 5 °C 185
2.2.3 Temperatura 25 °C 191
2.2.4 Temperatura 40 °C 197
2.2.5 Temperatura 50 °C 203

1. Planteamiento Del Problema

Desde hace tiempo atrás, los pavimentos de la ciudad de Quito continuamente se someten a fenómenos climáticos y a su vez a la influencia de cargas vehiculares que muchas veces son mayores a las consideradas establecidas para su diseño.

Todos estos factores disminuyen la vida útil del pavimento, por lo tanto, si no se realiza un adecuado y constante mantenimiento, estos pueden sufrir fallas; las mismas que pueden perjudicar a largo plazo la capacidad estructural del pavimento ocasionando un costo elevado según su nivel de afectación al momento de su rehabilitación.

Al momento de realizar un mantenimiento vial se deben contemplar los siguientes aspectos, para evitar las inconformidades en los ciudadanos del Distrito Metropolitano de Quito:

- Velocidad promedio de viaje en la vía pública durante la hora pico.
- Cantidad de automóviles circulantes en las vías secundarias o provisionales.
- Tiempo de viaje para un diferente destino dentro de la ciudad.

2. Objetivos

Objetivo General

- Determinar las mezclas asfálticas (caliente – frío) que tengan un mejor comportamiento mediante parámetros controlados de laboratorio para realizar la rehabilitación de las vías en el Distrito Metropolitano de Quito.

Objetivos Específicos

- Definir el pavimento con sus características específicas a través de conceptos básicos comprendiendo su funcionamiento.
- Conceptualizar de forma sencilla las mezclas asfálticas (caliente – frío) mediante un estudio exhaustivo para su comprensión.
- Adquirir varias muestras de las mezclas asfálticas (caliente – frío) elaboradas y utilizadas por las Empresas Viales del país para su respectivo estudio.
- Analizar y Evaluar las mezclas asfálticas (caliente – frío) basándose en parámetros controlados de laboratorio.
- Comparar los resultados obtenidos en el laboratorio verificando su calidad para restaurar las diferentes fallas presentes en las vías del Distrito Metropolitano de Quito.
- Detallar las conclusiones y recomendaciones a las que se llega después del análisis y evaluación de las mezclas asfálticas (caliente – frío).

3. Justificación

Se entiende que todo pavimento requiere de mantención, si esta no es realizada periódicamente o de la manera correcta, el pavimento perderá sus propiedades, produciéndose fallas en él. Estas fallas pueden ser de diferente tipo, específicamente los baches en carpetas asfálticas. Con respecto al estudio, se determinará cuál es la metodología de reparación más apropiada, que permita reducir recursos y optimizar costos.

La movilidad en el sistema urbano involucra actores puntuales que influyen en el desempeño cotidiano en función de un bien común como pueden ser: velocidad promedio de viaje en la vía pública durante la hora pico, cantidad de automóviles circulantes en las vías secundarias o provisionales y tiempo de viaje para un diferente destino dentro de la ciudad.

Estos actores generan un malestar en la ciudadanía y sus actividades diarias se ven afectadas, por lo que se deberían implementar de una manera más eficiente los mantenimientos viales evitando en lo posible generar molestias innecesarias en la red vial del Distrito Metropolitano de Quito.

4. Introducción

Los caminos son rutas terrestres cuya función principal es conectar dos o más puntos para promover su avance económico, social, cultural, turístico aumentando su nivel de desarrollo y disminuyendo su aislamiento. Es por esta razón que la humanidad ideo desde tiempos antiguos la manera de mejorar dichos caminos para tener una manera más eficiente de conexión a nivel de sociedad.

El pavimento está constituido por una serie de capas sucesivas, construidas una sobre otra colocadas sobre la subrasante hasta tener el diseño requerido, cada una de estas capas debe tener una preparación adecuada antes de construir la siguiente, todo esto tiene un procedimiento ya definido. Las mejoras que se han realizado son el resultado de un proceso de ensayo y error hasta lograr tener los caminos o vías de la actualidad. Los pavimentos como los conocemos ahora son el producto final de años de correcciones.

Para poder tener un pavimento adecuado se debe tomar en cuenta todos los parámetros del diseño ya sea, si se requiere un pavimento flexible o rígido, dichos parámetros influirán en varios ámbitos como son: el diseño, construcción, operación y mantenimiento. Optimizando de la mejor manera costos y construyendo un pavimento con la mayor vida útil posible.

De igual manera, si se realiza un mal diseño esto llevará a un deterioro mucho más rápido y de manera más agresiva al pavimento, por lo que, se necesitará realizar mantenimientos o reparaciones más costosas en donde se involucrarán muchos más factores. Estas reparaciones estarán ligadas al tipo de falla que sufra el pavimento donde

los más comunes pueden ser: fisuras, grietas, deterioro superficial con sus respectivos tipos.

Es por esta razón, que se requiere analizar una opción de reparación más eficaz y eficiente para poder generar una mayor productividad al momento de hablar de las necesidades del usuario.

5. Alcance

El presente plan de titulación, se centrará en un estudio de determinación de las mezclas asfálticas (caliente – frío) más adecuadas mediante parámetros controlados de laboratorio para realizar la rehabilitación de las vías en el Distrito Metropolitano de Quito.

El estudio se planteará, a través, del análisis y evaluación de las mezclas asfálticas por medio de ensayos de laboratorio con los cuales se obtendrán resultados puntuales, basándose en normas, manuales y especificaciones con respecto a los pavimentos para así establecer una comparación entre cada una de ellas; confirmando cuál de ellas es la más óptima para ser utilizada al momento de la rehabilitación vial en el distrito metropolitano de quito.

6. Marco Teórico

Capítulo 1

1.1 Pavimentos

Los pavimentos, como tal, son una seria de capas superpuestas; construidas sobre el suelo o subrasante. Cada capa debe ser compactada para poder servir de apoyo a la inmediata superior, cada una cumple una función específica; siendo su finalidad total, lograr una superficie plana, dura y en algunos casos decorativa, de tal manera, que resista el desgaste a la fricción o roce de los usuarios y dure un tiempo adecuado con relación a su uso predeterminado.

Los pavimentos deben cumplir o satisfacer ciertas características para lograr alcanzar un producto óptimo y de buena calidad, esas características son las siguientes:

- Capacidad para resistir las cargas a las que será sometido siendo estas definidas previamente por un diseño estructural y de uso sin sobrepasar la capacidad de la subrasante.
- Tener la suficiente capacidad para resistir las condiciones de intemperie que sean propias de la zona donde se ubicará la vía.
- Obtener una superficie plana o regular donde se pueda circular sin dificultad garantizando confort para el conductor.
- Poseer un sistema de drenaje propio (peralte y bombeo).
    - **Peralte:** es una inclinación transversal propia de las curvas de la vía cuya finalidad es que los vehículos no se salgan de la misma y continúe con la trayectoria trazada de la pista al momento de tomar la curva. De igual manera sirve para el escurrimiento del agua y evitar que esta se quede estancada en la calzada.

    - **Bombeo:** es una inclinación transversal del pavimento en los tramos rectos para lograr escurrir el agua y evitar que esta se estanque sobre él.
- Deben ser económicos por lo que desde el principio se busca que sean durables y dependiendo de su ubicación se los hace ligeros para evitar sobre carga a las estructuras y de colores adecuados para evitar un malestar en los usuarios ofreciendo seguridad al transitar.

El pavimento tiene una estructura definida que se la puede considerar como estructura tipo, está conformada por diferentes capas y dependiendo del tipo del pavimento o su uso las capas pueden aumentar o disminuir.

1.2 Sub Rasante

Esta capa es el suelo natural debidamente compactado para poder servir como cimiento de toda la estructura del pavimento, de preferencia se busca tener una sub rasante del tipo granular. Como esta capa es la que soportará el peso de la estructura y las cargas de diseño de igual manera se debe conocer que capacidad que tiene el suelo.

Para esto se deben realizar varios ensayos en el laboratorio como son el contenido de humedad, limite plástico, limite líquido, granulometría que son los que sirven para poder identificar y clasificar el material. Para conocer la capacidad del suelo se realizan el ensayo de compactación (proctor modificado) y CBR.

Ahora bien una vez realizado los ensayos respectivos en el laboratorio, si el suelo presenta:

Según Reyes Lizcano Fredy (2003) señala que:

- IP > 40
- LL > 70

- Expansión lineal en molde de CBR > 2%
- Contenido en matera orgánica > 3%

(p. 31).

En estos casos lo más recomendable es cambiar o mejorar la sub rasante (suelo) para poder alcanzar los requisitos y las especificaciones en el diseño, logrando de esta forma satisfacer las necesidades de los usuarios.

Unas opciones para mejorar la sub rasante podrían ser colocar cal para reducir el contenido de agua en el suelo, plantar materiales granulares como arena o rocas mejorando su armazón o poner geo textiles que funcionen como colchón y formen capas en el suelo.

Si la sub rasante no presenta dichos limitantes se puede usar directamente sin necesidad de cambiarla o mejorarla de ningún modo.

1.3 Sub Base

Su función principal es de soportar las cargas o esfuerzos transmitidos por los vehículos al igual que la sub rasante y transferirlos de mejor manera, con esta capa se puede generar un ahorro al constructor ya que al usarla se puede disminuir el espesor de la capa de base lo que se refleja en un ahorro significativo, cuando hablamos de un pavimento rígido esta capa es la única que se coloca bajo la losa de hormigón y si la sub rasante tiene gran capacidad puede obviarse la colocación de la sub base.

Existen 3 tipos de sub base, que se diferencian por su granulometría es decir tienen un diámetro de rocas definido y se clasifican en clase 2, clase2 y clase 3. Esta capa se la obtiene por medio de trituración o cribado de rocas que se encuentren fragmentadas naturalmente. Se debe tomar muy en cuenta el tipo de sub base que se desea utilizar ya que

cada una de ellas aparte de diferente tamaño de roca también tienen diferente permeabilidad, resistencia y formas de compactación.

Según el MTOP (2013) señala que las sub bases son:

- ***Clase 1:*** Son sub-bases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 1, en la Tabla 403-1.1. Por lo menos el 30 % del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración.
- ***Clase 2:*** Son sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Sección 816, y graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 2, en la Tabla 403-1.1.
- ***Clase 3:*** Son sub-bases construidas con agregados naturales y procesados que cumplan los requisitos establecidos en la Sección 816, y que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3, en la Tabla 403-1.1. (p.340)

Tabla # 1.1 403-1.1 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada

TAMIZ		SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
3”	76.2 mm						100
2”	50.4 mm	-	-		100		-
1 ½”	38,1 mm		100	70	100		-
Nº 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
Nº 40	0.425 mm	10	35	15	40		-
Nº 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

Fuente: MTOP (2013, p. 341)

1.4 Base

Su función primordial es transmitir las cargas o esfuerzos a las capas inferiores del pavimento como la sub base y la sub rasante ya que está situada debajo de la capa de rodadura. Dependiendo del tránsito que tendrá la vía esta capa puede ser tradicional o mezclada con cemento. Los agregados deben estar totalmente limpios, ser sólidos y resistentes, no poseer polvo, suciedad, arcilla u otros materiales extraños.

Existen 4 tipos de bases que se pueden usar en las vías, para colocar la adecuada se deberá tomar en cuenta el tipo de vía y su uso como muestra la siguiente tabla.

Tabla # 1.2 404-1.1 Recomendaciones para uso de material de base

MATERIAL ESPECIFICADO	TIPO DE CARRETERA	No. CARRILES	TPDA
BASE CLASE 1	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50.000
BASE CLASE 2	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3.65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m.	2 a 6	8.000 – 50.000
BASE CLASE 3	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de trafico	2 a 4	1.000 – 8.000
BASE CLASE 4	Caminos vecinales	2	<1.000

Fuente: MTOP (2013, p. 372)

- ***Clase 1:*** Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% de acuerdo con lo establecido en la subsección 814-2 y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B en la Tabla 404-1.1.

  El proceso de trituración que emplee el Contratista será tal que se obtengan los tamaños especificados directamente de la planta de trituración. Sin embargo, si hiciere falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación se podrá completar con material procedente de una trituración adicional, o con arena fina, que serán mezclados necesariamente en planta. (MTOP, 2013, p. 373)

Tabla # 1.3 404-1.2 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 1

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2”	50 mm		100		100
1 ½”	37.5 mm	70	100	70	100
1”	25 mm	55	85	60	90
¾”	19 mm	50	80	45	75
3/8”	9.5 mm	35	60	30	60
Nº 4	4.75 mm	25	50	20	50
Nº 10	2 mm	20	40	10	25
Nº 40	0.425 mm	10	25	2	12
Nº 200	0.075 mm	2	12		

Fuente: MTOP (2013, p. 373)

- ***Clase 2:*** Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en la subsección 814-4.

  Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.2.

  El proceso de trituración que emplee el Contratista será tal que se obtengan los tamaños especificados directamente de la planta de trituración. Sin embargo, si hace falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación podrá completarse con material procedente de una trituración adicional, o con arena fina, que serán mezclados preferentemente en planta. (MTOP, 2013, p. 373)

Tabla # 1.4 404-1.3 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 2

TAMIZ		BASE CLASE 2	
		Mín.	Máx.
2"	50 mm		100
1 ½"	37.5 mm	70	100
1"	25 mm	55	85
¾"	19 mm	47	75
3/8"	9.5 mm	35	65
Nº 4	4.75 mm	25	55
Nº 10	2 mm	15	45
Nº 40	0.425 mm	5	25
Nº 200	0.075 mm	0	10

Fuente: MTOP (2013, p. 374)

- ***Clase 3:*** Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso, y que cumplirán los requisitos establecidos en la subsección 814-4.

  Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.3.

  Si hace falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación, se podrá completar con material procedente de trituración adicional, o con arena fina, que podrán ser mezclados en planta o en el camino. (MTOP, 2013, p. 373)

Tabla # 1.5 404-1.4 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 3

TAMIZ		BASE CLASE 3	
		Mín.	Máx.
2”	50 mm		100
1”	25 mm	70	100
¾”	19 mm	60	90
3/8”	9.5 mm	40	75
Nº 4	4.75 mm	30	60
Nº 10	2 mm	15	45
Nº 40	0.425 mm	10	30
Nº 200	0.075 mm	0	15

Fuente: MTOP (2013, p. 374)

- ***Clase 4:*** Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, de conformidad con lo establecido en la subsección 814-3 y graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 404-1.4. (MTOP, 2013, p. 373)

Tabla # 1.6 404-1.5 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para base clase 4

TAMIZ		BASE CLASE 4	
		Mín.	Máx.
2”	50 mm		100
1”	25 mm	60	90
Nº 4	4.75 mm	20	50
Nº 200	0.075 mm	0	15

Fuente: MTOP (2013, p. 374)

1.5 Capa de Rodadura

Es la última capa que conforma la estructura del pavimento, esta capa es la que entra en contacto directo con los neumáticos de los vehículos o usuarios en general, por

esta razón debe tener ciertas características que garanticen un correcto funcionamiento de la misma. Para lograr generar la capa de rodadura se mezcla materiales pétreos como agregados finos y gruesos y asfalto que contiene bitumen, es el resultado de la destilación del petróleo o de betunes naturales siendo el componente principal, el asfalto es de color negro y no es soluble con el agua es por esto que es el mejor material para la construcción de caminos sean viales o peatonales.

De igual manera hay varios tipos de pavimentos siendo los más usados el **FLEXIBLE** o el **RÍGIDO** cada uno tiene sus características definidas tanto en construcción, mantenimiento, aplicaciones, ventajas y desventajas. Existe un pavimento más que se lo conoce como semi rígido, no es muy usado pero de igual forma es una opción a considerar a la hora de tomar una decisión del tipo de pavimento que necesitara nuestro camino.

Existen algunos tratamientos superficiales como:

- Tratamiento simple: consiste en la aplicación de un ligante asfaltico sobre un pavimento o base granular seguido de una capa de agregado.
- Tratamiento múltiple: consiste en una sobre posición de tratamientos simples.

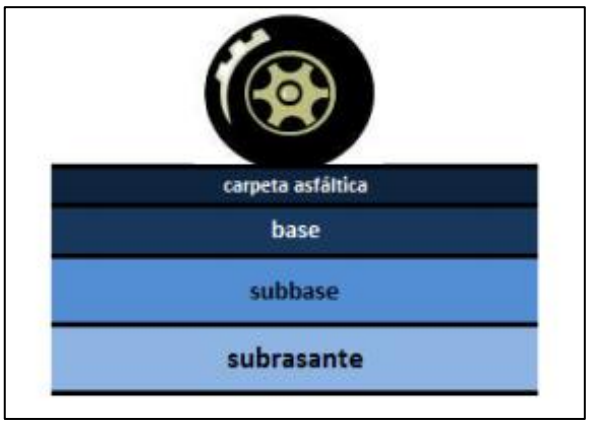
Se los puede considerar como una capa de rodadura y se los puede utilizar en zonas poco pobladas o con un TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) bajo ya que al no ser vías de primer o segundo orden pueden ser diseñadas y construidas de tal forma que no sea necesario colocar directamente un pavimento flexible o rígido. De igual forma estos tratamientos son usados para garantizar la impermeabilización de la superficie en donde se colocara un pavimento flexible o rígido, es decir son usados como protección en casos donde no se puede colocar de inmediato el pavimento.

1.6 Tipos De Pavimentos

1.6.1 Pavimento Flexible

Figura # 1.1

Pavimento Flexible



Nota. Adaptado de *Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento Flexible En La AV: Luis Montero, Distrito De Castilla* (p. 5), por Rodríguez. V. Edgar, 2009, https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf.

> "Tiene como superficie de rodadura una capa de mezcla asfáltica. Las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen mediante las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, mientras que la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa."
>
> VISE. (2016). Conoce los Distintos Tipos de Pavimentos. https://blog.vise.com.mx/conoce-los-distintos-tipos-de-pavimentacion

Por lo general este pavimento tiene la estructura típica sub rasante, sub base, base y capa de rodadura pero de igual manera en algunas ocasiones se puede obviar una capa por

ejemplo la sub base o la base dependiendo de las necesidades de la obra o de las características del terreno.

Este tipo de pavimento es muy utilizado para vías con transito continuo como por ejemplo carreteras, estacionamientos, fabricas, etc. Su vida útil o periodo de diseño por lo general está entre los 10 o 15 años generalmente existiendo algunos con periodos de diseño un poco mayores dependiendo de los requerimientos de la vía. Su construcción y mantenimiento en temas económicos iniciales es barato pero en las etapas siguientes es costosa ya que para garantizar un correcto funcionamiento del pavimento se debe realizar mantenimientos periódicos evitando de esta manera que el pavimento sufra fallas o colapse, generando problemas de confort a los usuarios y problemas mecánicos a los vehículos.

1.6.1.1 Funciones del Pavimento Flexible

1.6.1.1.1 Sub Base

- **Económica:** Se puede generar un ahorro siempre y cuando se tenga el criterio para colocar los materiales (capas) de menor calidad en la parte inferior y los de mejor calidad en la parte superior, ya que las capas inferiores son las más económicas generalmente.
- **Capa De Transición:** Esta capa si es de buena calidad y está bien diseñada actúa como filtro entre la sub rasante y la base impidiendo que los minerales se mezclen entre sí y que los finos de la sub rasante contaminen y afecten la calidad de la base.
- **Disminución De Deformaciones:** Existen varios factores que cambian el estado ideal de la estructura del pavimento por ejemplo; cambios volumétricos debido al exceso de agua en la sub rasante o por cambios bruscos de temperatura ya que ha

altas temperaturas los materiales se dilatan o expanden y a bajas temperaturas se encogen o contraen. Estos problemas son corregidos por la sub base.

- **Resistencia:** Soporta la carga transferida por los vehículos a las capas superiores y las transmite hacia la sub rasante de manera adecuada.
- **Drenaje:** drena el agua que ingresa por la carpeta o las bermas y de igual forma impide la ascensión capilar.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 4)

1.6.1.1.2 Base

- **Resistencia:** Su principal función es transmitir las cargas vehiculares de forma adecuada hacia la sub base y la sub rasante, siendo una capa resistente.
- **Económica:** Respecto a la carpeta asfáltica tienen una función análoga a la que tiene la sub base respecto a la base.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 4)

1.6.1.1.3 Carpeta

- **Superficie De Rodamiento:** Se debe garantizar una superficie uniforme, estable y resistente para soportar los efectos abrasivos del tránsito y del ambiente en general. De igual manera debe tener un color y textura apropiada para el uso que fue pensada.
- **Impermeabilidad:** En la medida de lo posible debe impedir el paso del agua hacia las capas inferiores ya que esto ocasiona problemas de deformaciones, drenaje o de lavado de material.
- **Resistencia:** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 4-5)

1.6.1.2 Ventajas y Desventajas

1.6.1.2.1 Ventajas

- Construcción inicial económica.
- Tiempo de vida útil de 10 a 15 años, incluso puede ser mayor.
- Muy usado para obras viales por su comportamiento funcional.
- Fácil reparación.

1.6.1.2.2 Desventajas

- Sin un mantenimiento adecuado y constante no logra cumplir su vida útil.
- Las potenciales fallas en su carpeta asfáltica como baches, agrietamientos o fisuras son un riesgo para la seguridad de los usuarios porque pueden llenarse de agua lluvia o generar restos de la carpeta causando pérdida de control de los vehículos dando lugar a accidentes vehiculares.
- Tratamientos superficiales constantes para garantizar el sellado de las grietas o fisuras superficiales.
- Resultados negativos en cuestión de control de los vehículos cuando la carpeta asfáltica esta mojada o húmeda.
- Mantenimiento costoso.

1.6.1.3 Proceso Constructivo del Pavimento Flexible

- Desmonte de la vegetación del derecho de la vía.
- Limpieza del material generado por el desmonte.
- Despalme del material superficial del terreno evitando mezclas de material, creación de cunetas en caso de ser necesario.

- Preparación y compactación de la sub rasante.
- Preparación y colocación de la sub base.
- Preparación y colocación de la base.
- Colocación del riego de imprimación del ligante bituminoso.
- Elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica
- Colocación de señales de tránsito vertical y horizontal, pintura, etc.
- Apertura al tránsito.

1.6.2 Pavimento Semi Rígido

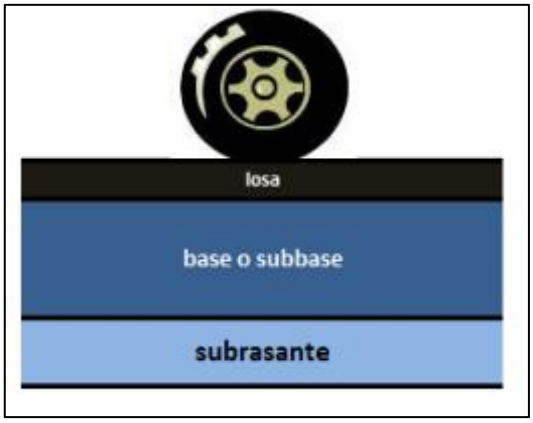
> "La carpeta asfáltica se apoya en una base asfáltica o en una base estabilizada con cemento Portland. Este material es un tipo de cemento hidráulico compuesto principalmente de clinker -mezcla de roca caliza y arcilla- más yeso."
>
> VISE. (2016). Conoce los Distintos Tipos de Pavimentos. https://blog.vise.com.mx/conoce-los-distintos-tipos-de-pavimentacion

Estos pavimentos son prácticamente lo mismo que un pavimento flexible pero con una diferencia considerable e importante. Este tipo de pavimentos son los que en sus capas se encuentra un material adicional que mejora sus características originales corrigiendo los problemas o deficiencias que presentaban para los requerimientos de la obra. Generalmente se utiliza cemento, cal, emulsión, asfalto o químicos para lograr este fin.

1.6.3 Pavimentos Rígidos

Figura # 1.2

Pavimento Rígido



Nota. Adaptado de *Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento Flexible En La AV: Luis Montero, Distrito De Castilla* (p. 5), por Rodríguez. V. Edgar, 2009, https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf.

> "Tiene como superficie de rodadura una losa de concreto apoyada en capas de diversos materiales. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente una falla estructural."
>
> VISE. (2016). Conoce los Distintos Tipos de Pavimentos. https://blog.vise.com.mx/conoce-los-distintos-tipos-de-pavimentacion

Este pavimento tiene menos capas en su estructura ya que solo se necesita de la sub rasante, sub base o base y la losa de hormigón de cemento portland a diferencia del pavimento flexible que tiene 4 capas (sub rasante, sub base, base y capa de rodadura). A diferencia de los otros pavimentos este posee elementos adicionales en su estructura como las juntas transversales y longitudinales que sirven para controlar y registrar los cambios de

volumen que se dan por la variación de temperatura de la zona. El pavimento rígido no es muy común o muy usado en la construcción de vías por su alto costo inicial, sin embargo sus etapas siguientes son más económicas ya que no se necesita de un mantenimiento constante para garantizar su correcto funcionamiento siempre y cuando el diseño sea el adecuado. El periodo de diseño de este pavimento está en 20 o 30 años, el doble del P. Flexible por esta razón se lo considera en ciertos proyectos viales.

1.6.3.1 Funciones Del Pavimento Rígido

1.6.3.1.1 Sub Base

- **Bombeo:** Impedir el lavado del material fino de la sub rasante hacia la superficie provocado por agua filtrada de las juntas entre las losas dañando así la estructura, diseño y funcionalidad del pavimento.
- **Capa De Transición:** Proporcionar apoyo estable, uniforme a toda la estructura del pavimento. Facilitando los trabajos de pavimentación.
- **Drenaje:** Reducir la acumulación de agua bajo la estructura del pavimento.
- **Disminución De Deformaciones:** Controla los cambios volumétricos ocasionados por agua o variaciones de temperatura. De igual forma mejora la capacidad de soporte de la sub rasante.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 5-7)

1.6.3.1.2 Losa De Concreto

Las funciones de la losa son prácticamente las mismas de la capa de rodadura en el pavimento flexible adicionando una función estructural para soportar y transmitir los esfuerzos que se le aplique adecuadamente.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 7)

1.6.3.2 Ventajas y Desventajas

1.6.3.2.1 Ventajas

- Tiempo de vida útil de 20 a 30 años.
- El hormigón reflecta la luz lo que se traduce en un ahorro en material de iluminación y consumo de energía.
- Las fallas en este pavimento generalmente no acumulan tanta agua por lo que no hay problemas de control del vehículo.
- Es muy fácil darles rugosidad a su capa de rodadura generando mayor adherencia.
- Puede soportar cargas muy superiores a las del pavimento flexible y con menores fallas en su estructura.
- Mayor facilidad de circulación vehicular y ahorro de combustible en los autos.
- Endurecimiento con el paso del tiempo lo que aumenta su resistencia y capacidad de soportar las cargas de la vía.
- Menos mantenimientos y mucho más económicos.

1.6.3.2.2 Desventajas

- Costo inicial elevado.
- Precauciones en el diseño.
- Difícil reparación.

1.6.3.3 Proceso Constructivo del Pavimento Rígido

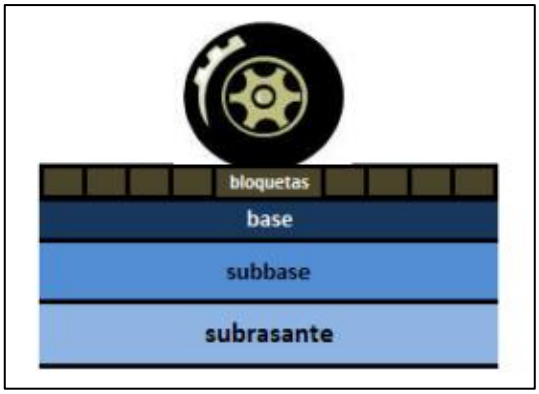
- Desmonte de la vegetación del derecho de la vía.
- Limpieza del material generado por el desmonte.
- Despalme del material superficial del terreno evitando mezclas de material, creación de cunetas en caso de ser necesario.

- Preparación y compactación de la sub rasante.
- Preparación y colocación de la sub base o base.
- Colocación de las juntas longitudinales y transversales, fijando dimensiones de las losas y controlan las fisuras.
- Colocación de las barras de anclaje o pasadores en las juntas transversales para transferir las cargas y restringir el movimiento horizontal de las losas.
- Colocación de las barras de unión en las juntas longitudinales para transferir cargas y mantener ancladas las losas.
- Colocación y curado del hormigón.
- Colocación de señales de tránsito vertical y horizontal, pintura, etc.
- Apertura al tránsito.

1.6.4 Pavimento Articulado

Figura # 1.3

Pavimento Articulado



Nota. Adaptado de *Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento Flexible En La AV: Luis Montero, Distrito De Castilla* (p. 5), por Rodríguez. V. Edgar, 2009, https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf.

Los pavimentos articulados están conformados por un conjunto de bloques llamados adoquines que generalmente son de granito ya que este material es resistente y muy sencillo de usar y transportar, igualmente se los hace de hormigón u otros materiales. Al día de hoy los adoquines vienen de varios tamaños y colores pero cuando se quiere hacer una calzada de este tipo de pavimento todos deben ser idénticos, es decir del mismo material, dimensiones y resistencia. Esta clase de pavimentos son usados en zonas con poco tráfico como conjuntos residenciales en calles secundarias y en zonas rurales o en vía de desarrollo. Ya que es un tipo de pavimento económico y muy funcional para estas áreas, su estructura generalmente es la sub rasante, base, cama de arena, sello de arena y la capa de rodadura que son los adoquines.

Su mantenimiento debe ser constante ya que al ser un conjunto de bloques si uno sufre algún tipo de falla el resto ira fallando de igual manera, por ejemplo si hay un asentamiento de una de las capas de la estructura ocasionara una especie de bache o hundimiento provocando el desacomodo de los adoquines y su posterior expulsión. Es por esta razón que este pavimento es un poco más frágil o susceptible a fallos y se debe tener un mantenimiento mucho más dedicado.

1.6.4.1 Funciones Del Pavimento Articulado

1.6.4.1.1 Base

Esta es la capa más gruesa de toda la estructura se la puede tener en una sola capa o en varias con materiales seleccionados para garantizar la resistencia necesaria en el diseño, sin embargo en algunos casos cuando se ponen varias capas se puede considerar que se coloca una sub base y una base como en el pavimento flexible.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 7)

1.6.4.1.2 Cama De Arena

Esta capa tiene un espesor bajo y es generalmente arena gruesa y limpia que se coloca sobre la base directamente. La función de esta capa es ser una plataforma para que los adoquines puedan ser colocados y nivelados de forma correcta ya que se debe tener una superficie uniforme y constante, otra de sus funciones es ser un filtro para el agua que se puede infiltrar por las juntas de los adoquines.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 7)

1.6.4.1.3 Adoquines

Deben tener una geometría y resistencia adecuada para poder cumplir con las características del diseño, ya que si su geometría es muy irregular es prácticamente imposible lograr una superficie uniforme y constante generando problemas estructurales y de confort para los usuarios. Su resistencia debe ser no solo a las cargas que generan los vehículos sino de igual manera a las condiciones ambientales ya que son la capa de rodadura y están en contacto con los neumáticos y los cambios ambientales.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 8)

1.6.4.1.4 Sello De Arena

Esta arena son las juntas que se usan en este pavimento, es una arena fina ubicada entre espaciamiento de los adoquines funcionando como sello y contribuyendo como parte de la capa de rodadura logrando una superficie uniforme y constante.

(Montejo Fonseca Alfonso, 2002, p. 8)

Capítulo 2

2.1 Mezclas Asfálticas

Las mezclas asfálticas por definición son una composición de materiales granulares como agregado grueso-fino y ligante asfáltico en proporciones exactas para generar una composición adecuada que cumpla con los requerimientos de cada proyecto ya que dependiendo de las exigencias se debe garantizar un producto de calidad y funcionamiento correcto. Las mezclas asfálticas se dividen o categorizan con varios parámetros como:

- Fracciones de agregado
- Temperatura en obra
- Proporción de vacíos
- Tamaño máximo del agregado
- Estructura del agregado
- Granulometría

Sin embargo esto también se subdivide en dos grupos, que son las mezclas asfálticas en caliente y las mezclas asfálticas en frio. Ya que cada una tiene sus parámetros de diseño, acondicionamientos, almacenamiento, transporte, compactación, etc. No olvidemos que las mezclas asfálticas deben resistir esfuerzos generados por las cargas vehiculares sin cambiar su geometría permitiendo una circulación vehicular confortable y segura, de igual manera deben ser manejables para poder realizar una colocación y compactación adecuada.

2.2 Clasificación

2.2.1 Fracciones de Agregado

- Masilla asfáltica: mezcla de polvo mineral más ligante.

- Mortero asfáltico: mezcla de agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: mezcla de agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: mezcla de agregado grueso más ligante asfáltico.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 45)

2.2.2 Temperatura Puesta en Obra

- Mezclas asfálticas en caliente: Se las realizan con asfaltos a unas elevadas temperaturas en el rango de 150°C, dependiendo de la viscosidad del ligante (asfalto) se deben calentar los agregados de la mezcla para que el asfalto no pierda temperatura y se enfrié al momento de entrar en contacto con ellos. La colocación en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente para facilitar su colocación, manejo y compactación.
- Mezclas asfálticas en frío: El ligante (asfalto) suele ser una emulsión asfáltica, esto es una mezcla entre asfalto y agua con una sustancia emulsionante que permite su correcto funcionamiento. En estos casos no es necesario acondicionar los agregados antes de realizar la mezcla y su puesta en obra puede realizarse a temperatura ambiente sin generar problemas en su colocación, manejo y compactación.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 45)

2.2.3 Proporción de Vacíos

- Mezclas Cerradas o Densas: La relación de vacíos no excede el 6%.
- Mezclas Semi Cerradas o Semi Densas: La relación de vacíos varía entre el 6% y el 10%.
- Mezclas Abiertas: La relación de vacíos excede el 12%.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La relación de vacíos es superior al 20%.

Cumplir este parámetro es necesario para que no se produzcan problemas con la mezcla como son las deformaciones plásticas por las cargas de los vehículos o las variaciones de temperatura generando las fallas del pavimento.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 46)

2.2.4 Tamaño Máximo del Agregado

- Mezclas Gruesas: Son mezclas asfálticas donde el tamaño máximo del agregado excede los 10mm (tamiz # 3/8”).
- Mezclas Finas: Son conocidos como micro aglomerados o morteros asfálticos de igual manera, son mezclas formadas básicamente por agregado fino más polvo mineral y un ligante asfáltico.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 46)

2.2.5 Estructura del Agregado

- Mezclas con Esqueleto Mineral: Su estructura mineral es muy resistente debido al rozamiento interno de los agregados con la ayuda del ligante (asfalto) y la cohesión de la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto Mineral: Su estructura mineral no es muy resistente ya que depende en su totalidad de la cohesión de la masilla, y está por sí sola no proporciona un enlace adecuado.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 46)

2.2.6 Granulometría

- Mezclas Continuas: Son mezclas que poseen una granulometría bien distribuida tanto en tamaños como en cantidades del agregado.

- Mezclas Discontinuas: Son mezclas que generalmente su granulometría está mal distribuida en tamaño y cantidades del agregado.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 46)

2.3 Tipología de las Mezclas Asfálticas

Ahora según las "ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES" del Ecuador se detallan criterios de diseño para Mezclas Asfálticas Calientes de Graduación Densa, Mezclas Asfálticas Calientes de Graduación Abierta, Mezclas Asfálticas Calientes de Graduación Discontinua, Mezclas Asfálticas Frías de Graduación Densa y Mezclas Asfálticas Frías de Graduación Abierta. Teniendo cada una sus parámetros, requisitos y diseños recomendados para garantizar su calidad y correcto funcionamiento, sin embargo, estos indicadores son extraídos de los diseños mencionados anteriormente y de normas o manuales extranjeros por lo que en algunas ocasiones al comparar el comportamiento o las características de la mezcla y sus componentes los resultados no siempre son exactos o están dentro del rango.

Esto se debe a que los agregados, ligante, maquinaria, personal, procesos, etc. No son iguales a los países de donde se toma la referencia es por esta razón que en algunos casos se necesita hacer ajustes a los diseños o tratar de mejorar los componentes de las mezclas para lograr alcanzar el rendimiento necesario y poder lograr productos de calidad para la población y los usuarios de las vías en general.

2.3.1 Mezcla Asfáltica en Caliente

Esta mezcla se caracteriza porque se deben calentar sus agregados antes de comenzar a realizar la mezcla, ya que si no el ligante (asfalto) perdería temperatura ocasionando que vaya perdiendo características como la capacidad de recubrir totalmente

el agregado de una manera homogénea y la mezcla tenga fallas desde el inicio, que a su vez generaran problemas a futuro con la vía. De igual manera para mantener esta característica importante su puesta en obra debe ser a temperaturas superiores a 150°C.

Su uso en la construcción es muy amplio llegando a ser usada en vías de primer orden o también llamadas principales que son aquellas vías de alto tráfico y conectan ciudades o lugares de mucha importancia y segundo orden dentro o secundarias que son vías que conectas poblaciones medias y son de un tráfico menor, de igual manera para aeropuertos, puertos y más infraestructuras de importancia. Su preparación puede ser en platas fijas para su posterior traslado a la obra o en plantas móviles que son de gran ayuda cuando los proyectos se encuentran en lugares de difícil acceso o donde no se tenga una plata fija cercana. Su contenido adecuado de ligante (asfalto) puede encontrarse en el rango de 3% al 6% del volumen de los agregados.

2.3.1.1 Métodos de Diseño

- The Hubbard-Field (1920's): Fue uno de los primeros métodos de diseño en el mundo que evaluaba el contenido de vacíos de la mezcla y del agregado utilizado. De igual manera utilizaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Era muy funcional para mezclas de agregado pequeño o granulometrías finas, pero no tan útil para mezclas con agregados grandes.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 47)

- Marshall (1930's): Este método se desarrolló durante la segunda guerra mundial y luego fue adaptado para carreteras. Se basa en la estabilidad de la mezcla y un porcentaje de vacíos fundamentalmente.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 48)

- Hveem (1930’s): Este método es usado para mezclas asfálticas el cual fue desarrollado casi a la par con el método Marshall, con la diferencia que evalúa la estabilidad pseudotriaxial.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 48)

- Western Association of State Highway on Transportation Officials “WASHTO” (1984): Este método de diseño es recomendó cambios en los requisitos del material y especificaciones en el diseño de las mezclas para mejorar la resistencia a las roderas.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 48)

- Asphalt Aggregate Mixture Analysis System “AAMAS” (1987): Este método perfeccionó la manera de compactación en el laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas creando pruebas para identificar las deformaciones permanentes, gritas por fatiga y la resistencia de las grietas a bajas temperaturas.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 48)

- Superpave (1993): El método AAMAS fue el punto de arranque de este método que posee un nuevo diseño volumétrico completo de toda la mezcla con funcionamiento basado en predicciones a través de modelos y métodos de ensayo en el laboratorio, grietas por fatiga y grietas por bajas temperaturas, prometiendo un funcionamiento adecuado en métodos para identificar la resistencia a deformaciones plásticas de los pavimentos.

(Padilla Rodríguez Alejandro, s.f, p. 48)

2.3.1.2 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Densa

Materiales. Como bien sabemos los agregados tienen sus propias características en cada fuente (mina) pero generalmente se debe cumplir con un mínimo de requisitos como dureza (ensayo de abrasión de los ángeles, norma AASHTO T 96), resistencia del agregado a las fuerzas expansivas por congelamiento del agua y ciclos de humedecimiento y secado (ensayo de resistencia al sulfato de sodio o magnesio, norma AASHTO T 104) y de igual forma el contenido de material deletéreos (norma AASHTO T 112). Como específica el MTOP en la sección 811-4.01

Tabla # 2.1 811-4.1 Propiedades de Origen Requeridas para Agregados Gruesos en Mezclas Asfálticas Densas

Requisitos para el Agregado Grueso		
Norma	**Descripción**	**Criterio**
AASHTO T 96	Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles	≤ 40 %
AASHTO T 104	Resistencia al Uso de Sulfato de Sodio , 5 ciclos	≤ 12 %
AASHTO T 104	Resistencia al Uso de Sulfato de Magnesio, 5 ciclos	≤ 18 %
AASHTO T 112	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables	≤ 1 %

Fuente: MTOP (2013, p. 904)

Tabla # 2.2 811-4.2 Propiedades de Origen Requeridas para Agregados Finos en Mezclas Asfálticas Densas

Requisitos para el Agregado Fino		
Norma	**Descripción**	**Criterio**
AASHTO T 104	Resistencia al Uso de Sulfato de Sodio , 5 ciclos	≤ 15 %
AASHTO T 104	Resistencia al Uso de Sulfato de Magnesio, 5 ciclos	≤ 20%
AASHTO T 90	Indice de Plasticidad, Fracción que pasa el Tamiz 0.425 mm %	≤ 4%

Fuente: MTOP (2013, p. 905)

De igual forma se debe aprobar los agregados gruesos y finos para realizar la mezcla asfáltica, esto se le conoce como consenso y de igual forma debe cumplir

características mínimas para garantizar un buen desempeño de la mezcla a fabricarse. Siguen los requisitos de la norma AASHTO M 323.

Tabla # 2.3 811-4.3 Propiedades de Consenso Requeridas para Agregados en Mezclas Asfálticas Densas

ESALs diseño [A] (millones)	Caras Fracturadas [C], Agregado Grueso, % min (AASHTO TP 61)		Vacíos no compactados, Agregado Fino, % min (AASHTO T 304)		Equivalente de Arena, % min (ASTM D 2419)	Partículas Planas y Alargadas [C], Relación 5:1, % máx (ASTM D 4791)
	Profundidad desde superficie		Profundidad desde superficie			
	≤100 mm	> 100 mm	≤100 mm	> 100 mm		
< 0.3	55/-	-/-	-	-	40	-
0.3 a < 3	75/-	50/-	40	40	40	10
3 a < 10	85/80 [B]	60/-	45	40	45	10
10 a < 30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥ 30	100/100	100/100	45	45	50	10

[A] Nivel de tráfico anticipado en el carril de diseño para un período de 20 años. Determinar los ESALs para 20 años, sin considerar el período de diseño de la vía.

[B] 85/80 denota que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y el 80% tiene dos o más caras fracturadas.

[C] Este criterio no aplica a mezclas de TNM 4.75 mm

Nota: Si una capa de mezcla tiene menos del 25% de su altura, dentro de un rango de 100 mm desde la superficie, la capa puede ser considerada como si estuviera debajo de 100 mm desde la superficie, para propósitos de diseño de mezcla.

Fuente: MTOP (2013, p. 905)

Pues bien las mezclas asfálticas de graduación densa según el diseño Marshall deben cumplir con la gradación de la tabla 811-4.4, como de igual forma si se usa el diseño Superpave debe cumplirse lo señalado en las tablas 811-4.5 y 811-4.6 que son las disposiciones de la norma AASHOT M 323.

Tabla # 2.4 811-4.4 Requisitos de Graduación para Agregados en Mezcla Asfálticas Densas (Marshall)

Tamaño Tamiz [mm]	Tamaño Nominal Máximo del Agregado [mm]			
	19.0	12.5	9.5	4.75
	Material más fino que cada tamiz (malla cuadrada), % que pasa en peso			
25.0	100			
19.0	90 a 100	100		
12.5		90 a 100	100	
9.5	56 a 80		90 a 100	100
4.75	35 a 65	44 a 74	55 a 85	80 a 100
2.36	23 a 49	28 a 58	32 a 67	65 a 100
1.18				40 a 80
0.6				25 a 65
0.3	5 a 19	5 a 21	7 a 23	7 a 40
0.15				3 a 20
0.075	2 a 8	2 a 10	2 a 10	2 a 10

Fuente: MTOP (2013, p. 906)

Tabla # 2.5 811-4.5 Requisitos de Graduación para Agregados en Mezcla Asfálticas Densas (Superpave)

Tamaño Tamiz [mm]	Tamaño Nominal Máximo del Agregado, Puntos de Control (Porcentaje que Pasa)											
	37.5 mm		25.0 mm		19.0 mm		12.5 mm		9.5 mm		4.75 mm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
50.0	100											
37.5	90	100	100									
25.0		90	90	100	100							
19.0				90	90	100	100					
12.5						90	90	100	100		100	
9.5								90	90	100	95	100
4.75										90	90	100
2.36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67		
1.18											30	60
0.075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12

Fuente: MTOP (2013, p. 906)

Tabla # 2.6 811-4.6 Punto de Control PCS (Superpave)

TNM [mm]	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5
PCS [mm]	9,5	4,75	4,75	2,36	2,36
Punto PCS [% Pasa]	47	40	47	39	47

Fuente: MTOP (2013, p. 906)

De igual forma se debe utilizar un ligante (asfalto o cemento asfáltico) que sea de calidad y que cumpla con requisitos mínimos para garantizar que cubra al agregado y mantenga unida la mezcla, impermeabilizada, fluir y resistir los esfuerzos generados por el tráfico. Así que en las "ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES" usan los parámetros de la norma INEN 2515 ENMIENDA 1 donde detalla los parámetros con los cuales podemos clasificar los cementos asfálticos para su posterior aprobación y uso.

Tabla # 2.7 7 Requisitos para Asfalto Cemento Gradual Viscosidad a 60 °C (140 °F) a Base de Asfalto Original

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm^2s^{-1}	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno,[C]	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración[B]		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad[A], 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
[A] Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.												
[B] Índice de penetración $= \frac{1952 - 500 \log pen - 20\,SP}{50 \log pen - SP - 120}$ donde: pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
[C] Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

Fuente: INEN (2014, p. n/a)

Diseño. Para esta mezcla se puede usar 2 métodos el Marshall o Superpave esto ya depende del diseñador o el contratista pero siempre se debe la autorización de la

fiscalización antes de comenzar a realizar los trabajos de la obra, caso contrario se podría generar problemas legales. Como específica el MTOP en la sección 812-4.

Tabla # 2.8 812-4.1 Criterios Marshall

Criterio	Tráfico					
	Bajo [A]		Medio [B]		Alto [C]	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Número de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad , N	3336		5338		8006	
Flujo, 0.25 mm	8	18	8	16	8	14
Vacíos de Aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacíos de Agregado Mineral, %	Ver Tabla 3.812-07					
Vacíos Llenos de Asfalto, %	70	80	65	78	65	75

[A] ESALs < 10,000
[B] ESALs entre 10,000 y 1,000,000
[C] ESALs > 1,000,000

Fuente: MTOP (2013, p. 922)

Tabla # 2.9 812-4.2 Criterios Marshall para VMA

TNM, mm	VMA mínimo, % Vacíos de Aire de Diseño, %		
	3.0	4.0	5.0
4.75	16	17	18
9.5	14	15	16
12.5	13	14	15
19.0	12	13	14

Fuente: MTOP (2013, p. 922)

Tabla # 2.10 812-4.3 Tolerancia en la Mezcla

Tamaño Tamiz, mm	Tolerancia, %
12.5 y superior	± 8
9.5 y 4.75	± 7
2.36 y 1.18	± 6
0.600 y 0.300	± 5
0.075	± 3
Contenido de Ligante, % del Peso Total de la Mezcla	± 0.5

Fuente: MTOP (2013, p. 923)

Tabla # 2.11 812-4.4 Requisitos de Diseño Superpave

ESALs Diseño (millones) 20 años	Densidad Relativa Requerida, % Gmm			VMA, % min						Rango VFA, % (*)	Rango de Relación Polvo - Ligante (**)
				TNM, mm							
	N_{ini}	N_{des}	N_{max}	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75		
< 0.3	≤ 91.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	70-80 (+)	0.6-1.2
0.3 a < 3	≤ 90.5	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-78	0.6-1.2
3 a < 10	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75 (++)	0.6-1.2
10 a < 30	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75 (++)	0.6-1.2
≥ 30	≤ 89.0	96.0	≤ 98.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	65-75 (++)	0.6-1.2

(*) Para TNM 37.5 el límite inferior será 64 % para todo tráfico
(**) Para TNM 4.75 mm el rango será 0.9-2.0
(+) Para TNM 25.0 mm el límite inferior será 67 % para tráfico < 0.3 millones de ESALs
(++) Para TNM 9.5 mm y tráfico > 3 millones ESALs el rango será 73-76 y para TNM 4.75 mm el rango será 75-78

Fuente: MTOP (2013, p. 923)

2.3.1.3 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Abierta

Materiales. Para este tipo de mezcla lo mejor es que los agregados logren disminuir el ruido que se ocasiona por las llantas con el pavimento pero mejorar la fricción entre ambas y debe ser permeable permitiendo el paso de líquidos. Sin embargo los agregados deben cumplir lo especificado en el reporte 673 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program).

Tabla # 2.12 811-4.7 Requisitos del Agregado Grueso para Mezclas Asfálticas de Graduación Abierta, en la tolerancia de la Norma de ensayo AASHTO T 96 Abrasión de los Ángeles % Desgaste Fijar como Máximo, 40%

Norma	Descripción	Tolerancias	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 96	Abrasión de Los Ángeles, % Desgaste	-	40
ASTM D 4791	Partículas Planas y Alargadas, Relación 2:1, %	-	50
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos, %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
AASHTO T 326, Método A	Vacíos no Compactados	45	-

[A] Se ha tenido éxito en el uso de agregados con valores de desgaste de hasta 50 % para la producción de mezclas asfálticas de graduación abierta. Sin embargo, si los valores de desgaste superan el 30%, se puede presentar una colapso excesivo en los agregados compactados en el laboratorio, o durante la compactación en sitio.

Fuente: MTOP (2013, p. 907)

Tabla # 2.13 811-4.8 Requisitos del Agregado Fino para Mezclas Asfálticas de Graduación Abierta

Norma	Descripción	Tolerancias	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos, %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
AASHTO T 304, Método A	Vacíos no Compactados	45	-
ASTM D 2419	Equivalente de Arena	50	-

Fuente: MTOP (2013, p. 907)

Tabla # 2.14 811-4.9 Requisitos de Graduación para Mezclas Asfálticas de Graduación Abierta

Tamaño Tamiz [mm]	Denominación		
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm
	Requisitos de Graduación		
25.0			100
19.0		100	85 a 100
12.5	100	80 a 100	55 a 70
9.5	85 a 100	35 a 60	-
4.75	20 a 30	10 a 25	10 a 25
2.36	5 a 15	5 a10	5 a 10
0.075	0 a 4	0 a 4	0 a 4

Fuente: MTOP (2013, p. 908)

El asfalto debe cumplir lo siguiente según “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES” usando los parámetros de la norma INEN 2515 ENMIENDA 1.

Tabla # 2.15 7 Requisitos para Asfalto Cemento Gradual Viscosidad a 60 °C (140 °F) a Base de Asfalto Original

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm^2s^{-1}	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno,[C]	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración[B]		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad[A], 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
[A] Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.												
[B] Índice de penetración $= \frac{1952 - 500 \log pen - 20\,SP}{50 \log pen - SP - 120}$ donde: pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
[C] Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

Fuente: INEN (2014, p. n/a)

Diseño. Esta mezcla debe seguir los lineamientos del reporte 673 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) o cumplir con lo estipulado en la norma ASTM D 7064/D 7064M caso contrario la fiscalización tiene el poder de descartar dicha mezcla.

Tabla # 2.16 812-4.5 Requisitos para Mezclas de Graduación Abierta (Reporte 673, NCHRP)

Propiedad	Requisito
Ligante, %	*Ver Tabla 3.812-10*
Vacíos de Aire, %	18 a 22
Pérdida Cántabro, %	máx. 15
Vacíos del Agregado Grueso (mezcla), %	Menos que VCA seco con barra
Relación de Resistencia a la Tensión Indirecta, TSR	mín. 0.70
Escurrimiento a la Temperatura de Producción, %	máx. 0.30

Fuente: MTOP (2013, p. 924)

Tabla # 2.17 812-4.6 Contenido de Ligante Mínimo para Mezclas de Graduación Abierta (Reporte 673, NCHRP)

Gravedad Específica Bulk del Agregado Combinado	Contenido de Asfalto Mínimo, Basado en Masa, %
2.40	6.8
2.45	6.7
2.50	6.6
2.55	6.5
2.60	6.3
2.65	6.2
2.70	6.1
2.75	6.0
2.80	5.9
2.85	5.8
2.90	5.7
2.95	5.6
3.00	5.5

Fuente: MTOP (2013, p. 924)

Tabla # 2.18 812-4.7 Requisitos para Mezclas de Graduación Abierta (ASTM D7064 / 7064M)

Norma	Propiedad	Requisito
ASTM D 6752	Vacíos de Aire, %	mín. 18
ASTM D 6390	Escurrimiento, 15 °C más alta que la temperatura de Producción Anticipada, %	máx. 0.30
ASTM D 7064	Pérdida Promedio por Abrasión Cántabro, especímenes no envejecidos, %	máx. 20 [A]
ASTM D 7064	Pérdida Promedio por Abrasión Cántabro, especímenes envejecidos, %	máx. 30 [A]
ASTM D 7064	Pérdida Individual por Abrasión Cántabro, especímenes envejecidos, %	máx. 50 [A]
AASHTO T 283	Susceptibilidad a la Humedad, 50 giros, 87.6 kPa, 10 min.	mín. 0.80

[A] Opcional

Fuente: MTOP (2013, p. 924)

2.3.1.4 Mezcla Asfáltica Caliente de Graduación Discontinua

Materiales. No hace falta mencionar que todos los agregados sea de donde sea que provengan deben ser de buena calidad, ahora para esta mezcla se debe garantizar que cumplan los criterios de la norma AASHTO M 325 (asfalto matriz de piedra "SMA") o del reporte 673 de NCHRP dependiendo cuál de los dos se tomara como parámetro en el diseño.

El relleno mineral de la mezcla tiene que ser trituración del agregado fino que pasa el tamiz # 200 (abertura de 0,075 mm), también debe estar completamente limpio y seco para que pueda fluir y no presentar masas del mismo, como otro indicador este no debe tener in índice de plasticidad (IP) superior a 4, si estas consideraciones no se cumplen se debe descartar este material.

Tabla # 2.19 811-4.10 Requisitos del Agregado Grueso para SMA (AASHTO M 325)

Norma	Descripción	Requisitos	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 96	Desgaste de Los Ángeles, %	-	30 [A]
ASTM D 4791	Partículas Planas y Alargadas [B], %		
	Relación 3:1	-	20
	Relación 5:1	-	5
ASTM T 85	Absorción, %	-	2.0
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos [C], %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
ASTM D 5821	Contenido Triturado, %		
	Una Cara	100	-
	Dos Caras	90	-

[A] Se han tenido resultados satisfactorios en la producción de SMA con valores de abrasión más altos. Sin embargo, cuando el valor de abrasión sea mayor que 30, se puede presentar un colapso excesivo del agregado durante el proceso de compactación en laboratorio o en campo.

[B] El criterio de partículas planas y alargadas aplica a la combinación de agregados de diseño.

[C] Se puede usar sulfato de sodio o magnesio. No es un requisito ejecutar ambos métodos.

Fuente: MTOP (2013, p. 909)

Tabla # 2.20 811-4.11 Requisitos del Agregado Grueso para Mezclas Asfálticas Discontinuas (NCHRP)

Norma	Descripción	Requisitos	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 96	Desgaste de Los Ángeles, %	-	30 [A]
ASTM D 4791	Partículas Planas y Alargadas [B], Relación 5:1, %	-	10
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos [C], %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
ASTM D 5821	Caras Fracturadas [D]		
	Una Cara	98	-
	Dos Caras	98	-

[A] Se han tenido resultados satisfactorios en la producción de SMA con valores de abrasión de hasta 50. Sin embargo, cuando el valor de abrasión sea mayor que 30, se puede presentar un colapso excesivo del agregado durante el proceso de compactación en laboratorio o en campo.

[B] El criterio de partículas planas y alargadas aplica a la combinación de agregados de diseño.

[C] Se puede usar sulfato de sodio o magnesio. No es un requisito ejecutar ambos métodos.

[D] El requisito de caras fracturadas para ESALs de diseño de 30 millones o más, puede ser reducido a 95/95, si se demuestre que en las condiciones locales y con los materiales utilizados, se pueden producir mezclas resistentes al ahuellamiento, bajo tráfico muy pesado.

Fuente: MTOP (2013, p. 909)

Tabla # 2.21 811-4.12 Requisitos del Agregado Fino para SMA (AASHTO M 325)

Norma	Descripción	Requisitos	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos [A], %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
AASHTO T 89	Límite Líquido, %	-	25
AASHTO T 90	Indice de Plasticidad, %	No Plástico	

[A] Se puede usar sulfato de sodio o magnesio. No es un requisito ejecutar ambos métodos.

Fuente: MTOP (2013, p. 910)

Tabla # 2.22 811-4.13 Requisitos del Agregado Fino para Mezclas Asfálticas Discontinuas (NCHRP)

Norma	Descripción	Requisitos	
		Mínimo	Máximo
AASHTO T 104	Resistencia a los Sulfatos, 5 ciclos [A], %		
	Sulfato de Sodio	-	15
	Sulfato de Magnesio	-	20
AASHTO T 304, Método A	Vacíos no Compactados, %	45 [B]	-
AASHTO T 90	Indice de Plasticidad, %	No Plástico	
AASHTO T 176	Equivalente de Arena	50	-

[A] Se puede usar sulfato de sodio o magnesio. No es un requisito ejecutar ambos métodos.

[B] El requisito de la FAA de 45 puede ser reducido a 43, si se demuestre que en las condiciones locales y con los materiales utilizados, se pueden producir mezclas resistentes al ahuellamiento, bajo el nivel de tráfico de diseño.

Fuente: MTOP (2013, p. 910)

Tabla # 2.23 811-4.14 Requisitos de Graduación para Mezclas Asfálticas Discontinuas

Tamaño Tamiz [mm]	Tamaño Nominal Máximo del Agregado [mm]					
	19.0		12.5		9.5	
	Bandas de Especificación, % que pasa en peso					
	Mín	***Máx***	***Mín***	***Máx***	***Mín***	***Máx***
25.0	100					
19.0	90	100	100			
12.5	50	88	90	100	100	
9.5	25	60	50	80	70	95
4.75	20	28	20	35	30	50
2.36	16	24	16	24	20	30
1.18						21
0.6						18
0.3						15
0.075	8	11	8	11	8	12

Fuente: MTOP (2013, p. 911)

El asfalto debe cumplir lo siguiente según “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES” usando los parámetros de la norma INEN 2515 ENMIENDA 1.

Tabla # 2.24 7 Requisitos para Asfalto Cemento Gradual Viscosidad a 60 °C (140 °F) a Base de Asfalto Original

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

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

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

donde:

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

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

Fuente: INEN (2014, p. n/a)

Diseño. Esta mezcla en particular se la debe diseñar con la norma AASHTO R 46 para poder tener concordancia con lo que la norma AASHTO M 325 solicita que el agregado grueso y fino cumpla.

Tabla # 2.25 812-4.8 Requisitos para Mezclas de Graduación Discontinuas (AASHTO M 325)

Propiedad	Requisito [D]
Vacíos de Aire, %	4.0 [A]
Vacíos de Agregado Mineral, %	mín. 17.0
Vacíos del Agregado Grueso (VCA mezcla)	Menos que VCA seco con barra [B]
Susceptibilidad a la Humedad, TSR	mín. 0.80
Escurrimiento a Temperatura de Producci	máx. 0.30
Contenido de Asfalto, %	mín. 6.0 [C]

[A] Se puede usar un valor de Va menor a 4.0 porciento, para vías de tráfico bajo o climas fríos, pero este valor no debe ser menor a 3.0.

[B] Ver la norma AASHTO R 46 para instrucciones de cálculo.

[C] La experiencia ha mostrado que los contenidos de ligante deberían estar entre 6.0 y 7.0 %. El disminuir el contenido de ligante a menos de 6.0 % puede afectar la durabilidad de la mezcla. Cuando no se pueda cumplir el requisito de esta tabla, referirse al texto guía de la norma ASHTO R 46.

[D] Estas especificaciones aplican a especímenes compactados en compactador giratorio a 100 giros, conforme a la norma AASHTO T 312. Cuando el valor de abrasión de los agregados sea mayos al 30 %, el número deseable de giros es 75.

Fuente: MTOP (2013, p. 925)

2.3.2 Mezcla Asfáltica en Frío

La característica de esta mezcla es que es realizada con emulsiones asfálticas que son una mezcla de asalto y agua con un emulsionante. Son muy utilizadas en la construcción para vías de segundo orden o secundarias que son vías que conectas poblaciones medias y son de un tráfico menor, y para vías de tercer orden o terciarias que son aquellas las cuales comunican municipios o comunidades rurales, su tráfico es mucho menor y de menor intensidad.

Otra característica de esta mezcla luego de su fabricación es su trabajabilidad que se mantiene durante varias semanas, esto se debe a que el ligante permanece con una viscosidad baja debido al uso de emulsionantes. Su viscosidad aumenta de una manera lenta y esto ayuda a su almacenamiento por varios periodos de tiempo y su transporte hasta

su colocación en obra. Las temperaturas de colocación pueden ser temperatura ambiente ya que no es necesario calentar ninguno de sus componentes, de igual manera esta mezcla tiene un proceso progresivo de aumento de resistencia con el paso del tiempo llamado maduración o curado que se basa en la evaporación del agua proveniente de la emulsión aumentando la unión de la mezcla. Se las puede preparar en plantas fijas o móviles e incluso en sitio u obra ya que no se necesita de condiciones especiales.

2.3.2.1 Mezcla Asfáltica Fría de Graduación Densa

Materiales. En esta mezcla en el manual del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Publicas) no se encontró especificación alguna pero podemos utilizar los parámetros del manual del Instituto del Asfalto MS.19 ya que de estos manuales se extrae los parámetros para aplicarlos en nuestro país.

Tabla # 2.26 7.2 Agregados para Mezclas, con Emulsión, de Granulometría Cerrada

Tabla 7.2 Agregados para Mezclas, con Emulsion, de Granulometria Cerrada

Tamaño del tamiz	Mat. semi-procesado de trituración, de cantera o de río	Granulometrías para Mezclas Asfálticas Cerradas, porcentaje pasante en peso				
50 mm (2 pulg.)	–	100	–	–	–	–
37.5 mm (1-1/2 pulg.)	100	90-100	100	–	–	–
25.0 mm (1 pulg.)	80-90	–	90-100	100	–	–
19.0 mm (3/4 in)	–	60-80	–	90-100	100	–
12.5 mm (1/2 pulg.)	–	–	60-80	–	90-100	100
9.5 mm (3/8 pulg.)	–	–	–	60-80	–	90-100
4.75 mm (No. 4)	25-85	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2.36 mm (No. 8)	–	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
1.18 mm (No. 16)	–	–	–	–	–	–
600 µm (No. 30)	–	–	–	–	–	–
300 µm (No. 50)	–	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
150 µm (No. 100)	–	–	–	–	–	–
75 µm (No. 200)	3-15	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Equivalente de arena, en%	min. 30	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
Ensayo Los Angeles, @500 rev.	–	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40
Porcentaje de caras trituradas	–	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65

Fuente: ASPHATL INSTITUTE (2001, p. 65)

Ahora cuando hablamos de mezcla asfáltica en frio se utiliza Emulsiones asfálticas, siendo estas una mezcla homogénea de aceite, agua y emulsificante para el diseño y mezcla. Sin embargo estas se pueden clasificar de varias formas como pueden ser por carga eléctrica, Aniónicas carga negativa y Catiónicas carga positiva o por su velocidad de ruptura y curado en obra, lentas, medias, rápida y controlada.

No obstante para las emulsiones se pueden usar las normas ASTM D 977 o ASTM D 2397 que son las indicadas para poder calificarlas de mejor manera y con más detalle, para así poder conocer y medir sus parámetros en forma más clara. Que son de donde "ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES" formulan sus parámetros.

Tabla # 2.27 810-4.3 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Aniónicas

Tipo		Rotura Rápida						Rotura Media					
Grado		RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS	20	100					20	100	100		100	
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS			75	400	75	400						
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.02 N $CaCl_2$, %	60		60		60							
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:												
	Cobertura, agregado seco							bueno		bueno		bueno	
	Cobertura, después de rociado							razonable		razonable		razonable	
	Cobertura, agregado mojado							razonable		razonable		razonable	
	Cobertura, después de rociado							razonable		razonable		razonable	
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %												
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	55		63		63		55		65		65	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %												
	Ensayos en el residuo de destilación:												
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	
ASTM D244	Ensayo de flotación, 60°C, s					1200							

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 894)

Tabla # 2.28 810-4.4 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Aniónicas (Continuación)

Nota 1: Las emulsiones QS-1H deben cumplir los requisitos establecidos en las prácticas de la norma ASTM D 3910
Nota 2: Las emulsiones QS-1h son usadas para sistemas Slurry Seal de Rotura Acelerada

Tipo		Rotura Media								Rotura Lenta				Rotura muy rápida	
Grado		HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		QS-1h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS	20	100	100		100		50		20	100	20	100	20	100
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS														
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1		
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.02 N $CaCl_2$, %														
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:														
	Cobertura, agregado seco	bueno		bueno		bueno		bueno							
	Cobertura, después de rociado	razonable		razonable		razonable		razonable							
	Cobertura, agregado mojado	razonable		razonable		razonable		razonable							
	Cobertura, después de rociado	razonable		razonable		razonable		razonable							
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %										2.0		2.0		N/A
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	55		65		65		65		57		57		57	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %							1	7						
	Ensayos en el residuo de destilación:														
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200		100	200	40	90	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	
ASTM D244	Ensayo de flotación, 60°C, s	1200		1200		1200		1200							

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 894)

Tabla # 2.29 810-4.5 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Catiónicas

Nota 1: Las emulsiones CQS-1H deben cumplir los requisitos establecidos en las prácticas de la norma ASTM D 3910
Nota 2: Las emulsiones CQS-1h son usadas para sistemas Slurry Seal de Rotura Acelerada

Tipo		Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura muy rápida	
Grado		CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS									20	100	20	100	20	100
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS	20	100	100	400	50	450	50	450						
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1		
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.8 % dioctyl sodium sulfosuccinate, %	40		40											
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:														
	Cobertura, agregado seco					bueno		bueno							
	Cobertura, después de rociado					razonable		razonable							
	Cobertura, agregado mojado					razonable		razonable							
	Cobertura, después de rociado					razonable		razonable							
ASTM D244	Carga de partícula	positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo	
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %										2.0		2.0		N/A
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	60		65		65		65		57		57		57	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %		3		3		12		12						
	Ensayos en el residuo de destilación:														
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 896)

Diseño. Para el diseño de esta mezcla se debe usar lo especificado en el manual MS.14 del instituto del asfalto (Asphalt Colad Mix Manual) logrando cumplir sus requisitos, no obstante es imprescindible saber si la mezcla se realizó con emulsión asfáltica o asfalto diluido ya que cada uno tiene su proceso y características que influyen en la mezcla.

Tabla # 2.30 812-5.1 Requisitos para Mezclas en Frío con Emulsión Asfáltica

Propiedad	Mínimo	Máximo
Estabilidad, 22.2 °C, N	2224	
Pérdida de Estabilidad Luego de Saturación al Vacío e Inmersión, %		50
Cobertura de Agregado, %	50	

Fuente: MTOP (2013, p. 926)

Tabla # 2.31 812-5.2 Requisitos para Mezclas en Frío con Asfalto Diluido

Propiedad	Mínimo	Máximo
Grado de Cobertura		
Porcentaje del solvente evaporado		
Mezclas para Mantenimiento	25	
Mezclas de Pavimentación	50	
Número de Golpes por Cara	75	
Vacíos de Aire, %	3	5
Vacíos de Agregado Mineral, %	Ver Fig. H-5 de MS-14	
Estabilidad, 25°C, N		
Mezclas para Mantenimiento	2224	
Mezclas de Pavimentación	3336	
Flujo, unidades de 0.25 mm	8	16
Estabilidad Retenida, 4 días en agua a 25 °C, %	75	

Fuente: MTOP (2013, p. 926)

2.3.2.2 Mezcla Asfáltica Fría de Graduación Abierta

Materiales. En esta mezcla se debe garantizar lo que la norma ASTM D 3515 pide para los agregados de mezclas abiertas caso contrario se debe consultar con la fiscalizadora para buscar una solución o un cambio de mezcla.

Tabla # 2.32 811-5.1 Requisitos de Graduación para Mezclas Asfálticas Abiertas (ASTM D 3525)

Tamaño Tamiz [mm]	Tamaño Nominal Máximo del Agregado [mm]				
	25.0	19.0	12.5	9.5	2.36
	Material más fino que cada tamiz (malla cuadrada), % que pasa en peso				
37.5	100.0				
25.0	90 a 100	100			
19.0		90 a 100	100		
12.5	40 a 70		85 a 100	100	
9.5		40 a 70	60 a 90	85 a 100	
4.75	10 a 34	15 a 39	20 a 50	40 a 70	100
2.36	1 a 17	2 a 18	5 a 25	10 a 35	75 a 100
1.18			3 a 19	5 a 25	50 a 75
0.6	0 a 10	0 a 10			28 a 53
0.3			0 a 10	0 a 12	8 a 30
0.15					0 a 12
0.075					0 a 5

Fuente: MTOP (2013, p. 912)

De igual manera se debe calificar a las emulsiones de la misma manera vista anteriormente con las normas ASTM D 977 o ASTM D 2397 que son de donde “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES” formulan sus parámetros.

Tabla # 2.33 810-4.3 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Aniónicas

Tipo		Rotura Rápida						Rotura Media					
Grado		RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS	20	100					20	100	100		100	
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS			75	400	75	400						
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.02 N $CaCl_2$, %	60		60		60							
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:												
	Cobertura, agregado seco							bueno		bueno		bueno	
	Cobertura, después de rociado							razonable		razonable		razonable	
	Cobertura, agregado mojado							razonable		razonable		razonable	
	Cobertura, después de rociado							razonable		razonable		razonable	
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %												
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	55		63		63		55		65		65	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %												
	Ensayos en el residuo de destilación:												
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	
ASTM D244	Ensayo de flotación, 60°C, s					1200							

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 894)

Tabla # 2.34 810-4.4 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Aniónicas (Continuación)

Nota 1: Las emulsiones QS-1H deben cumplir los requisitos establecidos en las prácticas de la norma ASTM D 3910
Nota 2: Las emulsiones QS-1h son usadas para sistemas Slurry Seal de Rotura Acelerada

Tipo		Rotura Media								Rotura Lenta				Rotura muy rápida	
Grado		HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		QS-1h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS	20	100	100		100		50		20	100	20	100	20	100
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS														
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1		
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.02 N $CaCl_2$, %														
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:														
	Cobertura, agregado seco	bueno		bueno		bueno		bueno							
	Cobertura, después de rociado	razonable		razonable		razonable		razonable							
	Cobertura, agregado mojado	razonable		razonable		razonable		razonable							
	Cobertura, después de rociado	razonable		razonable		razonable		razonable							
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %										2.0		2.0		N/A
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	55		65		65		65		57		57		57	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %							1	7						
	Ensayos en el residuo de destilación:														
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200		100	200	40	90	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	
ASTM D244	Ensayo de flotación, 60°C, s	1200		1200		1200		1200							

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 894)

Tabla # 2.35 810-4.5 Requisitos de las Emulsiones Asfálticas Catiónicas

Nota 1: Las emulsiones CQS-1H deben cumplir los requisitos establecidos en las prácticas de la norma ASTM D 3910
Nota 2: Las emulsiones CQS-1h son usadas para sistemas Slurry Seal de Rotura Acelerada

Tipo		Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura muy rápida	
Grado		CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
Norma	**Descripción**	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx	mín	máx
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 25°C, SFS									20	100	20	100	20	100
ASTM D244	Viscosidad, Saybolt a 50°C, SFS	20	100	100	400	50	450	50	450						
ASTM D6930	Estabilidad al Almacenamiento, 24 h, % [A]		1		1		1		1		1		1		
ASTM D6936	Demulsibilidad, 35 ml, 0.8 % dioctyl sodium sulfosuccinate, %	40		40											
ASTM D244	Capacidad de cobertura y resistencia al agua:														
	Cobertura, agregado seco					bueno		bueno							
	Cobertura, después de rociado					razonable		razonable							
	Cobertura, agregado mojado					razonable		razonable							
	Cobertura, después de rociado					razonable		razonable							
ASTM D244	Carga de partícula	positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo		positivo	
ASTM D6933	Ensayo del tamiz, % [A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
ASTM D6935	Mezcla con cemento, %										2.0		2.0		N/A
ASTM D6997	Residuo por destilación, %	60		65		65		65		57		57		57	
ASTM D6997	Destilado de aceite por volumen de emulsión, %		3		3		12		12						
	Ensayos en el residuo de destilación:														
ASTM D5	Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
ASTM D113	Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
ASTM D2042	Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

[A] *Este requisito de ensayo puede ser eludido si se ha logrado una aplicación exitosa del material en el campo*

Fuente: MTOP (2013, p. 896)

Diseño. Para el diseño de esta mezcla se debe usar lo especificado en el manual MS.14 del instituto del asfalto (Asphalt Colad Mix Manual) logrando cumplir sus requisitos, no obstante es imprescindible saber si la mezcla se realizó con emulsión asfáltica o asfalto diluido ya que cada uno tiene su proceso y características que influyen en la mezcla.

Capítulo 3

3.1 Tipos De Fallas

Cuando hablamos de pavimentos sin importar el tipo del pavimento probablemente van a tener o presentar fallas en su estructura siendo estos un problema grave. Estas fallas se pueden generar por dentro o por fuera del paquete estructural y cada uno tiene su manera de identificar, analizar, prevenir o reparar. Generalmente se recomienda revisar 1 vez al año si un pavimento presenta algún problema o falla para de estar forma lograr definir su severidad, magnitud y posible solución, sin embargo también se debe tomar en cuenta si la falla fue causada por un tema de diseño, materiales o proceso constructivo ya que en estos casos pueden haber consecuencias legales por negligencia o falta de ética profesional.

En todos los pavimentos las fallas no se producen por casualidad, se ocasionan en forma gradual y progresiva a través del paso del tiempo es decir la continua acción de las condiciones ambientales como variaciones en las temperaturas, lluvias, fenómenos naturales incluso posibles problemas con la fauna y flora o por condiciones típicas de un pavimento como las cargas de los vehículos, desgaste de la capa de rodadura por neumáticos, posible derrame de materiales en la capa de rodadura, etc. Tienen una repercusión en la superficie del pavimento generando las fallas que son desempeños insatisfactorios.

De igual manera se debe señalar que el objetivo principal de un mantenimiento no es reparar las fallas o los problemas que presente la vía mediante un mantenimiento rutinario, el objetivo más bien es evitar que el pavimento presente fallas o problemas con un mantenimiento preventivo. Por lo que los mantenimientos deben ser con la finalidad de garantizar el nivel de calidad, confort, funcionalidad y seguridad.

3.1.1 Pavimento Flexible

3.1.1.1 Fisuras o Agrietamientos

3.1.1.1.1 Fisura Piel de Cocodrilo

Son fisuras interconectadas que forman polígonos irregulares con diámetros menores a 30 cm. Por lo general comienzan en la parte interior de las capas asfálticas propagándose a la superficie donde asemejan a fisuras longitudinales paralelas pero en realidad forman una especie de malla.

Fuente: Coronado (2000, p.10)

Posibles Causas.

- Se generan por fatiga de las capas asfálticas sometidas a repetidas cargas de tránsito.
- El ligante (asfalto) ya envejeció y perdió su flexibilidad para sostener y soportar las cargas.

Fuente: Coronado (2000, p.10)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras finas de menos de 2 mm de ancho son paralelas pero con pocas conexiones, sus bordes no tienen despostillamientos.
- **Mediano:** Fisuras finas con ancho menor a 5 mm, están conectadas y presentas un moderado despostillamiento.
- **Alto:** Malla o red de fisuras conectadas que tienen polígonos marcados y con despostillamiento severo, pueden moverse por las cargas del tránsito e incluso formar baches.

Fuente: Coronado (2000, p.10)

Medición. Esta falla se la mide en metros cuadrados, puede que en esta falla estén presentes los 3 niveles de severidad si eso llega a pasar y son claramente distinguibles se los divide en 3, caso contrario se la trata como una sola pero con el nivel de severidad más alto para dar prioridad a este caso.

Fuente: Coronado (2000, p.10)

Solución.

- **Bajo:** suministrar un sellante o lechada asfáltica.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Rehacer la capa del pavimento en las áreas afectadas.

Fuente: González (2018, p.29)

Figura # 3.1

Fisura Piel de Cocodrilo



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 10), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.1.2 Fisura en Bloque

Conjunto de fisuras que tienen forma rectangular con un diámetro superior a 30 cm y un área o superficie entre 0,10 – 0,90 m2. Una de sus características es que suelen aparecer en áreas donde no circula mucho el tránsito.

Fuente: Coronado (2000, p.11)

Posibles Causas.

- Contracción de la mezcla por cambios bruscos en la temperatura.
- Por el cambio de volumen del agregado fino en mezclas con ligante de penetración baja.

Fuente: Coronado (2000, p.11)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras sin sellar con ancho de 2 mm y despostillamiento menor o fisuras de cualquier ancho selladas que no filtren fluidos.
- **Mediano:** Fisuras sin sellas con ancho entre 2 a 5 mm, fisuras sin sellar con ancho de 5 mm y despostillamiento menor y fisuras de ancho cualquiera sin despostillamiento con sellante en malas condiciones.
- **Alto:** Fisuras sin sellar de ancho 5 mm y fisuras con despostillamientos severos.

Fuente: Coronado (2000, p.11)

Medición. Se la mide en metros cuadrados, si claramente se distingue varios niveles de severidad se la divide y se registra por separado, caso contrario se la toma como 1 sola falla con el nivel más alto de severidad que presente.

Fuente: Coronado (2000, p.11)

Solución.

- **Bajo:** Sellado o lechada asfáltica en la superficie afectada.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Re capeo o rehacer la carpeta asfáltica con un sellado previo de las grietas existentes.

Fuente: González (2018, p.29)

Figura # 3.2

Fisura en Bloque



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 11), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.1.3 Fisura en Arco

Son fisuras que no siempre están en la misma dirección del tráfico ya que su orientación depende netamente de las fuerzas de tracción de los neumáticos, es decir que toman esta orientación más no la del tránsito obligatoriamente. Tienen forma de media luna.

Fuente: Coronado (2000, p.12)

Posibles Causas.

- Provocados por las fuerzas de frenado o el giro de los neumáticos.
- Falta de riego de liga que genera una mala adherencia entre capas.
- Exceso de ligante o mucho polvo durante la colocación de la mezcla.
- Demasiada arena en la mezcla.

Fuente: Coronado (2000, p.12)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras con ancho menor a 3 mm.
- **Mediano:** Fisuras con ancho entre 3 a 6 mm y cuando el área alrededor de la fisura esta fracturada en piezas.
- **Alto:** Fisuras con ancho superior a 6 mm y cuando el área alrededor esta fracturada con piezas prácticamente removibles.

Fuente: Coronado (2000, p.12)

Medición. Se la mide en metros cuadrados y se la registra con su respectivo nivel de severidad para su posterior tratamiento.

Fuente: Coronado (2000, p.12)

Solución.

- **Bajo:** Sellado de grietas con material sellante propio de la mezcla y el diseño.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Repetir solución anterior.

Figura # 3.3

Fisura en Arco



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 12), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.1.4 Fisura Transversal

Es una falla que se puede extender por toda la superficie de la vía, formando un ángulo prácticamente recto con el sentido del tránsito. Puede afectar a todo el ancho del carril limitándose a 0,60 m del borde del pavimento.

Fuente: Coronado (2000, p.13)

Posibles Causas.

- Contracción de la mezcla por exceso de filler.
- Envejecimiento del asfalto.
- Reflexión de grietas en capas inferiores.
- Mala construcción de las juntas.

Fuente: Coronado (2000, p.13)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras sin sellar con anchos inferiores a 3 mm que no tengan ramificaciones, fisuras selladas de ancho indefinido con sellante en buena condición.
- **Mediano:** Fisuras sin sellar de ancho entre 3 y 6 mm, fisuras sin sellar con ancho promedio de 6 mm que posean ramificaciones finas y fisuras selladas de cualquier ancho con ramificaciones marcadas.
- **Alto:** Fisuras sin sellar con ancho mayor a 6 mm y cualquier fisura sellada o no que tengan ramificaciones marcadas con despostillamiento severo y que puedan formar mallas.

Fuente: Coronado (2000, p.13)

Medición. Se las mide en unidad de metros lineales, cada fisura se la registra con su longitud y nivel de severidad para poder definir su mejor mantenimiento o solución. Si una fisura presenta varios grados de severidad en su longitud se la debe dividir en el mismo número de grados de severidad.

Fuente: Coronado (2000, p.13)

Solución.

- **Bajo:** Sellar con lechada asfáltica.
- **Mediano:** Realizar solución anterior.
- **Alto:** Rehacer la carpeta asfáltica con un espesor adecuado.

Fuente: González (2018, p.30)

Figura # 3.4

Fisura Transversal



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 13), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.1.5 Fisura Longitudinal

Es un fracturamiento que se extiende a lo largo de la superficie de la calzada generalmente paralela al eje del tránsito, se las puede encontrar en las huellas de canalización del tránsito cercano a los bordes. Cuando recién aparece esta falla es de corta longitud pero si no se la atiende pronto puede generar ramificaciones u otras fisuras paralelas a esta.

Fuente: Coronado (2000, p.14)

Posibles Causas.

- Fatiga por debilidad estructural (pavimento débil) generalmente se dan en las huellas de canalización del tránsito.
- Mala distribución de la mezcla durante su puesta en obra, se dan en el eje y coinciden con los carriles de la vía.

- Encogimiento de la mezcla por pérdida de flexibilidad causada por variaciones térmicas considerables.
- Reflexión de fisuras ya existentes en capas inferiores del pavimento, por lo general estas presentan fisuras transversales de igual manera.
- Mal confinamiento lateral de la mezcla, crea un debilitamiento en el borde que al interactuar con las cargas del tránsito generan la fisura a una distancia de 0, 45 m de los bordes.

Fuente: Coronado (2000, p.14)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras sin sellar con un ancho promedio inferior a 3 mm sin ramificaciones o fisuras selladas sea cual sea el ancho con material sellante.
- **Mediano:** Fisuras sin sellar con ancho entre 3 – 6 mm, fisuras sin sellar con ancho menor a 6 mm que presenten ramificaciones y fisuras selladas de cualquier tipo con ramificaciones.
- **Alto:** Fisuras sin sellar con ancho superior a 6 mm y cualquier fisura sellada o no que posea múltiples ramificaciones evidenciando despostilla miento severo.

Fuente: Coronado (2000, p.14)

Medición. Se las mide en unidad de metros lineales, cada fisura se la registra con su longitud y nivel de severidad para poder definir su mejor mantenimiento o solución. Si una fisura presenta varios grados de severidad en su longitud se la debe dividir en el mismo número de grados de severidad.

Fuente: Coronado (2000, p.14)

Solución.

- **Bajo:** sellado de grietas con material sellante propio de la mezcla y el diseño.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Repetir solución anterior.

Fuente: González (2018, p.29)

Figura # 3.5

Fisura Longitudinal



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 14), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.2 Deformaciones Superficiales

3.1.1.2.1 Ahuellamiento

Es una depresión que va en el mismo sentido del tránsito, es decir longitudinalmente y tiene una longitud mínima de 6 m por lo general se da en vías con alta carga vehicular o en vías donde pasen vehículos con pesos considerables. Se lo relaciona a una mala estabilidad o insuficiencia estructural.

Fuente: Coronado (2000, p.16)

Posibles Causas.

- Capas del pavimento mal compactadas.
- Inestabilidad en bases y sub bases por presión de agua o saturación de las mismas.
- Mezcla asfáltica inestable.
- Espesores incorrectos en las capas del pavimento.
- Mala construcción y mantenimiento.
- Altos volúmenes de tránsito no previstos en el diseño original.
- Permanencia prolongada en la calzada de vehículos pesados.

Fuente: Coronado (2000, p.16)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Profundidad menor a 10 mm.
- **Mediano:** Profundidad entre 10 a 25 mm.
- **Alto:** Profundidad superior a 25 mm.

Fuente: Coronado (2000, p.16)

Medición. Se mide esta falla en metros lineales con la ayuda de una regla de 1,2 m de longitud haciéndolo transversalmente al eje de la vía y en intervalos de 3 m. Se separa cada falla con su respectiva identificación, severidad y longitud.

Fuente: Coronado (2000, p.16)

Solución.

- **Bajo:** Rellenar la huella con mezcla asfáltica o lechada asfáltica de tamaño máximo ½” hasta que este nivelado con la rasante.

- **Mediano:** Rellenar la huella con mezcla asfáltica y cubrir la calzada con capas asfálticas de 50 mm.
- **Alto:** Realizar un frezado completo de la superficie de la capa asfáltica y reemplazarlo con una nueva que cumpla con las cargas solicitantes del tráfico.

Fuente: González (2018, p.36)

Figura # 3.6

Ahuellamiento



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 16), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.2.2 Hundimiento

Es una depresión o declive de la superficie del pavimento en zonas específicas.

Fuente: Coronado (2000, p.20)

Posibles Causas.

- Se generan por asentamientos de las capas.
- Problemas en la construcción o falta de mantenimiento a los drenes.

Fuente: Coronado (2000, p.20)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Poca molestia al manejar que no es muy perceptible a la velocidad normal de tránsito.
- **Mediano:** Molestia considerable al manejar obligando a bajar la velocidad de circulación.
- **Alto:** Alta molestia al manejar generando severa incomodidad y reducción casi total por motivos de seguridad.

Fuente: Coronado (2000, p.20)

Medición. Este tipo de falla se lo mide en metros cuadrados registrando cada falla por separado con su nivel de severidad y zona afectada.

Fuente: Coronado (2000, p.20)

Solución.

- **Bajo:** Rellenar con cape seal al hundimiento hasta nivelarlo con la superficie.
- **Mediano:** Reparar el área dañada o reemplazar las capas asfálticas deterioradas.
- **Alto:** Reparar el área dañada o reemplazar las capas asfálticas deterioradas y la base igualmente.

Fuente: González (2018, p.37)

Figura # 3.7

Hundimiento



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 20), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.3 Desintegración

3.1.1.3.1 Bache

Esta falla es una desintegración total de la capa de rodadura que generalmente se extiende a las capas inferiores del pavimento si no se lo repara pronto. Formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.

Fuente: Coronado (2000, p.21)

Posibles Causas.

- Capas inferiores del pavimento inestables.
- Espesores insuficientes.
- Problemas en la ejecución.
- Retención de agua en hundimientos o fisuras del pavimento.

- Intensa carga o sobre carga en zonas débiles del pavimento o áreas donde se desarrollaron fallas tipo piel de cocodrilo con severidad alta que posteriormente generan desprendimiento de la capa de rodadura.

Fuente: Coronado (2000, p.21)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Profundidad < 2,5 cm; Diámetro < 70 cm / Profundidad < 2,5 cm; 70 cm < Diámetro < 100 cm / 2,5 cm < Profundidad < 5 cm; Diámetro < 70 cm.
- **Mediano:** Profundidad < 2,5 cm; Diámetro > 100 cm / 2,5 cm < Profundidad < 5 cm; 70 cm < Diámetro < 100 cm / Profundidad > 5 cm; Diámetro < 70 cm / Profundidad > 5 cm; 70 cm < Diámetro < 100 cm.
- **Alto:** 2,5 cm < Profundidad < 5 cm; Diámetro > 100 cm / Profundidad > 5 cm; Diámetro > 100 cm.

Fuente: Coronado (2000, p.21)

Medición. Para poder registrar esta falla hay dos maneras distintas, se puede contar el número de baches con su nivel de severidad o se suma los metros cuadrados de cada nivel de severidad por separado.

Fuente: Coronado (2000, p.21)

Solución.

- **Bajo:** Limpiar el área afectada y rellenarla con mezcla en frío o en caliente con una adecuada compactación y enrasado.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Repetir solución anterior.

Fuente: González (2018, p.34)

Figura # 3.8

Bache



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 21), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.3.2 Peladura

Es una desintegración de la superficie del pavimento por la pérdida de ligante bituminoso (asfalto) que se desprende de los agregados, exponiendo a estos mismos al tráfico y al ambiente.

Fuente: Coronado (2000, p.22)

Posibles Causas.

- Ligante endurecido apresuradamente.
- Mal diseño y mala calidad de la mezcla asfáltica.
- Uso de agregados sucios o demasiado absorbentes.
- Mala construcción del pavimento.
- Perdida de adherencia entre el agregado y el asfalto.

Fuente: Coronado (2000, p.22)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Son pequeños desprendimientos en la superficie de forma errática, donde el ligante o los agregados comienzan a desprenderse.
- **Mediano:** Desprendimientos considerables de ligante o agregados, la superficie se muestra abierta y rugosa.
- **Alto:** Extensivo desprendimiento de agregados y ligante, la superficie tiene huecos entre 10 a 15 mm de diámetro y profundidad, la rugosidad es excesiva.

Fuente: Coronado (2000, p.22)

Medición. Se mide en metros cuadrados de área dañada, registrándose con su respectiva severidad.

Fuente: Coronado (2000, p.22)

Solución.

- **Bajo:** Colocación de un sellante o lechada asfáltica.
- **Mediano:** Colocar una nueva carpeta asfáltica mínima de 50 mm.
- **Alto:** Repetir solución anterior.

Fuente: González (2018, p.41)

Figura # 3.9

Peladura



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 22), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.3.3 Desintegración de Bordes

Se basa en una destrucción progresiva del borde del pavimento por las cargas del tránsito. Generalmente esta falla se da en vías que no tienen bermas construidas de manera adecuada o no existen como estructura en sí. O incluso en vías que las tienen pero los vehículos se estacionan constantemente en esta zona.

Fuente: Coronado (2000, p.23)

Posibles Causas.

- Acción localizada del tránsito en estas zonas limítrofes del pavimento.
- Presencia de arena sueltas cercanas a la calzada.

Fuente: Coronado (2000, p.23)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Fisuras paralelas al borde sin signos de peladura, desintegración o erosión.
- **Mediano:** Fisuras paralelas al borde de severidad alta con o sin peladura sin una desintegración total.
- **Alto:** Desintegración considerable o total en los bordes de la calzada con sectores removidos por el tránsito vehicular, el borde presente forma serpenteante reduciendo el ancho del carril de circulación.

Fuente: Coronado (2000, p.23)

Medición. Se miden en metros cuadrados separados por su nivel de severidad y su distancia afectada.

Fuente: Coronado (2000, p.23)

Solución.

- **Bajo:** Sellar o colocar lechada asfáltica.
- **Mediano:** Reconstruir el revestimiento con una faja adyacente.
- **Alto:** Se debe recebar, re perfilar y compactar la berma de nuevo.

Fuente: González (2018, p.45)

Figura # 3.10

Desintegración de Bordes



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 23), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.4 Otros Deterioros

3.1.1.4.1 Exudación de Asfalto

Se trata de una superficie de material bituminoso (asfalto) que brota de la mezcla asfáltica durante periodos de tiempo con temperaturas considerables. Esta película bituminosa es brillante, reflectante y pegajosa.

Fuente: Coronado (2000, p.24)

Posibles Causas.

- Excesivo contenido de asfalto o sellos bituminosos en la mezcla.
- Se presenta en mezclas con un porcentaje de vacíos incorrecto en épocas calurosas donde el ligante se dilata llenando los vacíos y aflorando a la superficie.

Fuente: Coronado (2000, p.24)

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** Se puede visualizar la coloración brillante de la superficie por brotes aislados.
- **Mediano:** Exceso de asfalto libre que forma una película continua situada en la canalización del tránsito, se vuelve una superficie pegajosa en épocas cálidas.
- **Alto:** Presencia significativa de asfalto libre generando una superficie de apariencia húmeda y una intensa coloración negra, la superficie se vuelve pegajosa en épocas cálidas.

Fuente: Coronado (2000, p.24)

Medición. Esta falla se mide en metros cuadrados de área perjudicada, registrándola con su severidad y su localización.

Fuente: Coronado (2000, p.24)

Solución.

- **Bajo:** Colocar un sellante en el área de exudación.
- **Mediano:** Fresar en frío 10 a 15 mm de la capa asfáltica y reemplazarla con una nueva carpeta con un porcentaje de vacíos un poco superior.
- **Alto:** Repetir solución anterior.

Fuente: González (2018, p.38 - 39)

Figura # 3.11

Exudación de Asfalto



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 24), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

3.1.1.4.2 Parchados y Reparaciones

Son áreas donde el pavimento original fue removido o cambiado ya sea con materiales iguales o distintos al original. También se los encuentra cuando se han realizado reparaciones públicas como tuberías, instalaciones eléctricas, alcantarillas, agua potable, etc.

Esta falla disminuye el nivel de servicio (calidad) de la vía ya que es una zona muy susceptible a originar otras fallas alrededor de su superficie cuando fueron realizadas de una manera incorrecta o son defectuosas.

Fuente: Coronado (2000, p.25)

Posibles Causas.

- No existe una o unas causas definidas ya que estos parches se forman generalmente por reparaciones de servicios públicos subterráneos así que son en teoría difícil de calificar o encontrar sus causas.

Niveles de Severidad.

- **Bajo:** El parche se comporta adecuadamente y no presente ningún defecto en su área o cercana.
- **Mediano:** El parche esta moderadamente deteriorado en su área o cercanías.
- **Alto:** El parche está severamente dañado, existen daños en su área y/o cercanías con severidades altas.

Fuente: Coronado (2000, p.25)

Medición. Los parches se miden en metros cuadrados de área dañada registrándolos con su severidad. Un parche con una superficie considerable y con diferentes tipos de fallas y severidad puede ser reemplazado de forma continua considerando la solución de la falla más catastrófica.

Fuente: Coronado (2000, p.25)

Solución.

- **Bajo:** Recubrir el área afectada con en sellante.
- **Mediano:** Repetir solución anterior.
- **Alto:** Reparación total del parche, extraerlo, limpiarlo y cambiar las capas que sean necesarias hasta donde sea pertinente.

Fuente: González (2018, p.32)

Figura # 3.12

Parchados y Reparaciones



Nota. Adaptado de *Manual Centro Americano de Mantenimiento de Carreteras* (p. 25), por Coronado. Jorge, 2000, https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf

Capítulo 4

4.1 Análisis y Evaluación en el Laboratorio

En este capítulo se presentara un resumen y una explicación de los ensayos de laboratorio realizados con el fin de dar un esclarecimiento sobre lo que se hizo y sobre lo que se está examinando a las muestras asfálticas analizadas.

Se utilizaron 2 muestras para este análisis. La primera de ellas fue la mezcla asfáltica en caliente de la Empresa Publica Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP) y la segunda fue la mezcla asfáltica en frío de CHOVA – IMPTEK DEL ECUADOR. La EPMMOP facilito el ingreso a su planta asfáltica ubicada en la Av. Simon Bolívar para la toma de material, mientras que CHOVA nos indicó los lugares de venta al público de su producto Bitumix para su obtención.

No obstante si se tiene más dudas sobre algún procedimiento, material, equipo, etc. Recomendamos revisar las normas utilizadas en este plan de disertación a detalle o de igual forma acudir a las instituciones antes mencionadas.

4.2 Normas Utilizadas

- Muestreo de Mezclas Asfálticas Sueltas: ASTM D 979 / AASHTO T 168
- Moldeo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6926
- Gravedad Especifica/Densidad de Mezclas Asfálticas-SSS (BULK): ASTM D 2726 / AASHTO T 166
- Gravedad Especifica Máxima Teórica de Mezclas Asfálticas (RICE): ASTM D 2041 / AASHTO T 209
- Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6927

- Determinación de Susceptibilidad a la Humedad de las Mezclas Asfálticas (TSR): ASTM D 4867 / AASHTO T 283
- Módulo de Rigidez de Mezclas Asfálticas: BS EN 12697-26
- Moldeo en Compactador Giratorio para Mezclas Asfálticas: AASHTO T 312
- Extracción y Preparación de Núcleo de Mezclas Asfálticas: ASTM D 5361
- Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62

Estas normas fueron la base de los ensayos en el laboratorio y se realizaron para ambas mezclas asfálticas, es decir mezcla asfáltica en caliente y mezcla asfáltica en frío. Sin embargo en el proceso se dieron algunos problemas, contratiempos o excepciones que se detallaran como una observación o nota a considerar en cada norma a continuación.

4.2.1 Muestreo de Mezclas Asfálticas Sueltas: ASTM D 979 / AASHTO T 168

4.2.1.1 Alcance

Esta norma se basa en como muestrear pavimentos bituminosos ya sean en la planta de fabricación, lugar de almacenamiento o entrega en obra. Sin embargo tiene valores que se expresan en unidades internacionales (SI) o en pulgadas por lo que es recomendable trabajar con una de estas dos formas de medida y no mezclarlas entre si ya que esto puede ocasionar una confusión o mala interpretación.

No habla sobre medidas de seguridad al momento de realizar el muestreo y enfatiza que es responsabilidad de el o los usuarios tomar las medidas necesarias para garantizar su seguridad y del resto al momento de realizar los diferentes tipos o métodos de muestreo en los lugares pertinentes.

4.2.1.2 Equipo

- Contenedor: U otro recipiente de tamaño suficiente para poder colocar una muestra representativa.
- Agente de liberación: Producto antiadherente que evite o ayude a la separación y limpieza de las herramientas y contenedores con la mezcla asfáltica.
- Herramienta de muestreo: Pala u otro utensilio que funcione para tomar muestras sin usar las manos.
- Dispositivo para camiones (opcional): aparato mecánico tipo excavadora que le permite al usuario tomar muestras de la plataforma de un camión sin necesidad de subirse a ella.

4.2.1.3 Procedimiento

- Inicialmente se debe revisar el material determinando si existen variaciones en la mezcla, para poder tomar las muestras de un área uniforme.
- Una vez identificada la o las zonas donde se hará el muestreo se debe colocar el agente de liberación en las herramientas y recipientes (opcional).
- Si se muestrea de una cinta transportadora se debe seleccionar al azar 3 zonas de mismo tamaño, luego se toma porciones de material aproximadamente iguales o superior al mínimo necesario, colocándolas con cuidado en los recipientes.
- Si se tomaran muestras de camiones se selecciona aleatoriamente las unidades y se debe obtener 3 muestras aproximadamente iguales o superior al mínimo necesario. Se debe evitar tomar la muestra de la superficie ya que puede tener una temperatura inferior, se recomienda hacer una pequeña excavación luego realizar una homogenización y tomar de dicha zona la muestra.

- Si se va a muestrear en obra, es decir en la calzada antes de la compactación se debe de igual forma tomar 3 muestras iguales o superiores al mínimo seleccionadas al azar luego de homogenizar la zona.
- En el caso de mezclas en frio, si lleva mucho tiempo el material apilado se debe excavar una profundidad de 10cm en 1m2 para evitar la toma de la superficie que puede tener una costra (curado). Obteniendo 3 muestras iguales o que supere el mínimo.

4.2.1.4 Cálculos

No se realizan cálculos en esta Norma.

4.2.1.5 Resultados

No se obtienen resultados en esta Norma.

4.2.1.6 Nota

La toma de muestras de la mezcla en caliente de la EPMMOP se realizó más de una vez ya que no se puede almacenar por tiempo prolongado una mezcla en caliente y los ensayos llevan tiempo. Mientras que la toma de muestras de la mezcla en frio de CHOVA se realizó 1 sola compra de los sacos de 50kg de Bitumix en centros autorizados.

4.2.2 Moldeo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6926

4.2.2.1 Alcance

En esta norma se habla de cómo realizar briquetas de 4 pulg (101,6 mm) de diámetro y 2,5 pulg (63,5 mm) de altura de mezcla asfáltica, tomando en cuenta que el tamaño máximo del agregado de la mezcla sea de hasta 1 pulg (25, 4 mm).

Se pueden usar 3 tipos de martillos compactadores para esta práctica dependiendo de las posibilidades. La primera opción es un martillo de uso manual que está conectado a

un pie de compactación plano a través de un eslabón giratorio con resorte, la segunda opción es similar a la primera pero puede ser mecánico o manual de igual forma puede o no tener una sobrecarga constante en la parte superior y la tercera opción es un martillo mecánico fijado a un pie de compactación inclinado sobre una base giratoria donde puede o no tener una sobrecarga en la parte superior.

4.2.2.2 Equipo

- Molde de Compactación: Cilindros con molde de compactación de 4,5 pulg de diámetro externo y 4 pulg de diámetro interno y 2,75 pulg de altura, collar de 4,5 pulg de diámetro externo y 4,12 pulg de diámetro interno y 3,44 pulg de altura, plato base de 4,75 pulg de diámetro externo y 4 pulg de diámetro interno y 0,54 pulg de altura. Aproximadamente.
- Extractor de muestras: Se puede usar cualquier tipo de mecanismo ya sea un gato hidráulico o un brazo de palanca siempre y cuando no deforme las muestras.
- Martillos compactadores: Existen 3 posibilidades dependiendo de qué martillo compactador se vaya a utilizar, opción 1 martillo con masa deslizante de 10 lb con caída libre de 18 pulg, opción 2 martillo con masa deslizante de 10 lb con caída libre de 18 pulg y opción 3 martillo con masa deslizante de 10 lb y caída libre de 18 pulg.
- Pedestal de compactación: Debe ser de las dimensiones adecuadas para garantizar la estabilidad, soporte y protección ya sea del molde con la mezcla y de los usuarios.
- Hornos: Debe ser un horno de aire circulante que pueda calentar agregados, material asfaltico, martillos, moldes, etc.

- Varios: Se puede tener sartenes de metal de fondo, contenedores, paletas de acero de punta redondeada, cuchara, espátula, espátula para acomodar el material termómetro de líquido en vidrio o termómetro de inmersión parcial de líquido de vidrio o termómetro electrónicos, papel filtro, embudo. Todas estas herramientas son necesarias para realizar el moldeo.

4.2.2.3 Procedimiento

- Calentar o tener caliente la mezcla asfáltica, los moldes de compactación y el martillo compactador a unos 144 – 150 °C en el horno.
- Pesar una cantidad de la mezcla asfáltica como muestra para colocarla en el molde de compactación.
- Sacar un molde de compactación, poner el papel filtro al fondo del molde y luego colocar una capa delgada de material fino de la mezcla asfáltica seguido de la mayor parte de la muestra o el material grueso de la mezcla para al final colocar una capa delgada de material fino más.
- Con la espátula para acomodar el material dar 15 golpes alrededor del molde y 10 golpes en el centro del molde con el fin de acomodar la mezcla y colocar otro papel filtro en la parte superior.
- Llevar el molde al compactador y compactar ambos lados (ambas caras) del molde con 75 golpes cada uno para mezclas en caliente y con 50 golpes para mezclas en frío.
- Retirar el molde del compactador y sacar el papel filtro de ambas caras, de esta forma dejarlo enfriar a temperatura ambiente, en caso de ser mezcla en frío se deja la mezcla en el molde por 1 día completo.
- Desmoldar la briqueta del molde con la ayuda del gato hidráulico.

4.2.2.4 Cálculos

No se realizan cálculos en esta Norma.

4.2.2.5 Resultados

No se obtienen resultados en esta Norma.

4.2.2.6 Nota

Para ambas mezclas (caliente y fría) se realizaron o prepararon 24 moldes ya que con este número de briquetas se debían realizar todos los ensayos mencionados al inicio del capítulo. Sin embargo para la mezcla en caliente se usaron pesos o masas de muestra de 1100 gr aproximadamente mientras que para la mezcla en frio se usaron pesos o masas de 1100 gr aproximadamente, esto se debe a que poseían tamaños máximos de agregado diferente y por esta razón para cumplir con lo requerido en las dimensiones de la briqueta (briquetas de 4 pulg (101,6 mm) de diámetro y 2,5 pulg (63,5 mm) de altura de mezcla asfáltica) se debía realizar este cambio. En el caso de la mezcla en caliente se dejó reposar o enfriar la muestra en el molde el tiempo suficiente en que se enfrié a temperatura ambiente mientras que la mezcla en frio se la dejo por 24 horas debido a que esta mezcla necesita más tiempo para alcanzar condiciones aceptables.

4.2.3 Gravedad Especifica/Densidad de Mezclas Asfálticas-SSS (BULK): ASTM D 2726 / AASHTO T 166

4.2.3.1 Alcance

Esta norma calcula la gravedad y densidad de muestras asfálticas ya compactadas a 25°C que no superen o absorban más del 2% de agua por volumen de muestra. Caso contrario se debe realizar otro procedimiento que se describe en la norma ASTM D 1188 o D 6752, pero en si determina la masa de un metro cubico de material asfaltico (densidad) y la relación entre la masa de un volumen de material y la masa de un volumen de agua

(gravedad especifica), todo este ensayo se basa en que tanto la muestra como el agua deben estar a 25°C.

4.2.3.2 Equipo

- Balanza: Amplia y con capacidad para colocar las muestras sin dificultad. Debe tener una sensibilidad suficiente para dar valores de hasta con 3 cifras decimal mínimo y de igual forma debe contar con un mecanismo que permita realizar mediciones de muestras suspendidas en agua.
- Baño de Agua: Recipiente capaz de contener agua suficiente y constante para sumergir las muestras completamente o dejarlas en suspensión además que el agua debe permanecer a 25°C.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura de 110°c aproximadamente y de tamaño suficiente para colocar las muestras.
- Termómetro: Debe ser de inmersión parcial de líquido en vidrio o uno de resistencia de platino con rango adecuado para realizar mediciones.
- Cronometro: Capaz de cronometrar el tiempo o de colocar alarma a horarios determinados.

4.2.3.3 Procedimiento

- Secar las briquetas por un tiempo adecuado en el horno hasta que estén completamente secas.
- Pesarlas en la balanza y registrar este valor como masa seca del espécimen (A).
- Sumergir totalmente las briquetas en agua a 25°C durante un promedio de 4 minutos, luego determine el peso de la briqueta con la balanza y registre este valor como masa sumergida del espécimen (C).

- Una vez realizado el paso previo extraiga la briqueta del agua y con una franela o toalla húmeda seque la superficie de la briqueta rápidamente pésela y registre este valor como masa saturada del espécimen (B).

4.2.3.4 Cálculos

- Gravedad especifica Bulk: Se calcula con la relación entre la masa seca y la masa del volumen de agua para el volumen de muestra.

Formula 4.1: $Bulk\ sp\ gr = A/(B - C)$

Dónde:

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

B: Masa de la muestra con superficie saturada seca en el aire (gr).

C: Masa de la muestra sumergida en agua (gr).

- Densidad de la muestra: Se calcula multiplicando la gravedad especifica Bulk por la densidad del agua que puede ser 997,0 kg/ m3 (redondeado a 1000) o 0,997 gr/cm3 (redondeado a 1).

Formula 4.2: $Densidad = Bulk\ sp\ gr\ \times 0{,}997\ gr/cm3$

Dónde:

Bulk sp gr: Gravedad Específica Bulk (gr/cm3).

- Porcentaje de agua absorbido: Se calcula como la relación entre la masa saturada menos la masa seca y la masa saturada menos la masa sumergida, y luego multiplicado por 100.

Formula 4.3: $\%\ de\ agua\ absorvido = \frac{(B-A)}{(B-C)} \times 100$

Dónde:

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

B: Masa de la muestra con superficie saturada seca en el aire (gr).

C: Masa de la muestra sumergida en agua (gr).

4.2.3.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Tabla # 4.1 Gravedad Especifica Bulk – Densidad – Porcentaje de Agua Absorbido de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

	gravedad específica bulk					densidad de la muestra			porcentaje de agua absorbido por la muestra (en base al volumen)			
briqueta	A	B	C	B-C	G.E	G.E		D	A	B	C	%
	masa de la muestra seca en el aire, g	masa de la muestra saturada de superficie seca en el aire, g	masa de la muestra en agua, g	masa del volumen de agua para el volumen de muestra a 25 ° C [77 ° F]	gravedad específica bulk	gravedad específica bulk	densidad del agua en gr / cm 3 a 25 ° C [77 ° F]	densidad	masa de la muestra seca en el aire, g	masa de la muestra saturada de superficie seca en el aire, g	masa de la muestra en agua, g	Porcentaje de agua absorbida por volumen
1	1160,69	1166,08	612,84	553,24	2,098	2,098	0,997	2,09169245	1160,69	1166,08	612,84	0,974260719
2	1133,16	1143,46	596,4	547,06	2,071	2,071	0,997	2,0651492	1133,16	1143,46	596,4	1,88279165
3	1132,57	1144,06	600,4	543,66	2,083	2,083	0,997	2,07698247	1132,57	1144,06	600,4	2,113453261
4	1133,76	1144,52	601,4	543,12	2,087	2,087	0,997	2,08123199	1133,76	1144,52	601,4	1,981145971
5	1132,33	1146,83	600,14	546,69	2,071	2,071	0,997	2,06503322	1132,33	1146,83	600,14	2,652325815
6	1128,19	1149,49	603,54	545,95	2,066	2,066	0,997	2,06027187	1128,19	1149,49	603,54	3,901456177
7	1134,23	1148,43	605,8	542,63	2,090	2,090	0,997	2,08397492	1134,23	1148,43	605,8	2,616884433
8	1131,86	1144,77	601,82	542,95	2,085	2,085	0,997	2,07839473	1131,86	1144,77	601,82	2,377751174
9	1132,67	1146,89	598,06	548,83	2,064	2,064	0,997	2,05759887	1132,67	1146,89	598,06	2,590966237
10	1130,83	1144,54	601,81	542,73	2,084	2,084	0,997	2,07734511	1130,83	1144,54	601,81	2,526117959
11	1134,05	1144,51	601,7	542,81	2,089	2,089	0,997	2,08295324	1134,05	1144,51	601,7	1,927009451
12	1131,51	1143,56	601,41	542,15	2,087	2,087	0,997	2,08081798	1131,51	1143,56	601,41	2,222632113
13	1131,85	1145,94	600,07	545,87	2,073	2,073	0,997	2,0672586	1131,85	1145,94	600,07	2,581200652
14	1134,07	1146,97	601	545,97	2,077	2,077	0,997	2,07093392	1134,07	1146,97	601	2,362767185
15	1130,97	1142,88	596,95	545,93	2,072	2,072	0,997	2,0654243	1130,97	1142,88	596,95	2,181598373
16	1131,36	1146,67	596,92	549,75	2,058	2,058	0,997	2,05177975	1131,36	1146,67	596,92	2,784902228
17	1147,45	1155,86	606,8	549,06	2,090	2,090	0,997	2,08357493	1147,45	1155,86	606,8	1,531708739
18	1132,53	1148,38	595,62	552,76	2,049	2,049	0,997	2,04271729	1132,53	1148,38	595,62	2,867428902

Mezcla en Frío.

Tabla # 4.2 Gravedad Especifica Bulk – Densidad – Porcentaje de Agua Absorbido de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

	gravedad específica bulk					densidad de la muestra			porcentaje de agua absorbido por la muestra (en base al volumen)			
briqueta	A	B	C	B-C	G.E	G.E		D	A	B	C	%
	masa de la muestra seca en el aire, g	masa de la muestra saturada de superficie seca en el aire, g	masa de la muestra en agua, g	masa del volumen de agua para el volumen de muestra a 25 ° C [77 ° F]	gravedad específica bulk	gravedad específica bulk	densidad del agua en gr / cm 3 a 25 ° C [77 ° F]	densidad	masa de la muestra seca en el aire, g	masa de la muestra saturada de superficie seca en el aire, g	masa de la muestra en agua, g	Porcentaje de agua absorbida por volumen
1	897,46	925,97	393	532,97	1,684	1,684	0,997	1,67883299	897,46	925,97	393	5,34926919
2	900,63	927,87	400,07	527,8	1,706	1,706	0,997	1,70126584	900,63	927,87	400,07	5,161045851
3	898,48	931,22	406,76	524,46	1,713	1,713	0,997	1,70801312	898,48	931,22	406,76	6,242611448
4	897,95	934,25	391,49	542,76	1,654	1,654	0,997	1,64945123	897,95	934,25	391,49	6,688038912
5	899,62	929,39	401,62	527,77	1,705	1,705	0,997	1,69945457	899,62	929,39	401,62	5,640714705
6	900,86	928,71	404,04	524,67	1,717	1,717	0,997	1,71185206	900,86	928,71	404,04	5,308098424
13	900,53	926,41	410,61	515,8	1,746	1,746	0,997	1,74065221	900,53	926,41	410,61	5,017448623
14	896,97	919,82	398,2	521,62	1,720	1,720	0,997	1,71442638	896,97	919,82	398,2	4,380583567
15	895,92	920,79	398,88	521,91	1,717	1,717	0,997	1,71146795	895,92	920,79	398,88	4,7651894
16	895,05	926,07	401,61	524,46	1,707	1,707	0,997	1,70149268	895,05	926,07	401,61	5,914655074
17	897,46	922,94	405,4	517,54	1,734	1,734	0,997	1,72888592	897,46	922,94	405,4	4,923290953
18	894,33	916,36	398,9	517,46	1,728	1,728	0,997	1,72312258	894,33	916,36	398,9	4,2573339

4.2.3.6 Nota

Para la mezcla en frío desde la briqueta 7 a la 12 no se realizó el ensayo ya que debido a su diseño de mezcla diferente a la caliente en un ensayo posterior (estabilidad y flujo) se debía realizar unas condiciones distintas a las muestras, esto se explicara más adelante.

4.2.4 Gravedad Especifica Máxima Teórica de Mezclas Asfálticas (RICE): ASTM D 2041 / AASHTO T 209

4.2.4.1 Alcance

Esta norma calcula la gravedad de muestras asfálticas no compactadas a 25°C pero en si determina la relación entre la masa de un volumen de material y la masa de un volumen de agua (gravedad especifica), todo este ensayo se basa en que tanto la muestra como el agua deben estar a 25°C.

4.2.4.2 Equipo

- Picnómetro: Recipiente de metal o plástico de diámetro entre 7-10 pulg y una altura de 6 pulg aproximadamente, con su tapa del mismo material.
- Matraz de vacío: Matraz de vidrio de capacidad aproximada de 4000 ml con tapón de goma y conexión al vacío.
- Balanza: Amplia y con capacidad para colocar las muestras sin dificultad. Debe tener una sensibilidad suficiente para dar valores de hasta con 1 cifras decimal mínimo.
- Bomba de vacío: Debe poder evacuar el aire del picnómetro a una presión residual de 4 KPa (30 mm de Hg).
- Manómetro de presión residual o absoluta: Se utiliza para confirmar la presión ejercida en el recipiente o tazón que debe ser de 4 KPa.

- Manómetro o medidor de vacío: Se usa para medir el vacío aplicado al recipiente.
- Termómetro: Debe ser de inmersión con rango adecuado y una legibilidad de 0,1°C y un error máximo de 0,5°C.
- Baño de Agua: Recipiente capaz de contener agua suficiente y constante para sumergir las muestras completamente o dejarlas en suspensión además que el agua debe permanecer a 25°C.
- Válvula de purga: Debe estar conectado al recipiente para controlar la liberación lenta de presión, puede ser controlada manualmente o mecánicamente.
- Dispositivo de agitación: Debe ser capaz de agitar suavemente el recipiente pero de manera constante además debe poder sostener el recipiente de una forma segura y que no se mueva, debe tener tapa transparente equipada con una junta de goma y conexión al vacío.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura de 110°c aproximadamente y de tamaño suficiente para colocar las muestras.

4.2.4.3 Procedimiento

- Se debe tener la muestra seca, caso contrario se procede con el método suplementario que es trata de secar la muestra hasta tener una masa constante, es decir que el valor de la masa se repita dentro de un 0,1% de diferencia cada 15 minutos. Esto se logra colocando la muestra en bandejas y tenerlas en constante movimiento durante este periodo de tiempo a temperatura ambiente.
- Una vez seca la muestra y que se pueda manipular con la mano, encerar el recipiente y colocar la muestra en el recipiente o tazón teniendo cuidado de no fracturar el agregado y que pueda ingresar agua en el mismo.
- Pesar el recipiente con la muestra en la balanza y registrar este valor como (A).

- Colocar agua a 25°C en el recipiente hasta cubrir completamente la muestra y que exista un espacio de al menos 1 pulg (2,54cm) entre la parte superior de la muestra y el nivel del agua en la superficie.
- Poner el recipiente o tazón en el agitador mecánico, fijarlo y asegurarlo al dispositivo confirmando que no se pueda mover. Tapar el tazón y verificar que no exista fuga de aire.
- Encender el agitador e inmediatamente comenzar a eliminar el aire de la muestra con el aumento de la presión de vacío hasta que el manómetro marque 3,7 KPa aproximadamente, esta medida se debe estabilizar dentro de 2 minutos.
- Una vez logrado esto se debe continuar con la agitación por 7,5 minutos en la dirección que inicio el agitador, luego de sebe cambiar el sentido de giro y continuar durante 7,5 minutos más.
- Después se coloca el recipiente que contiene la muestra con agua y la tapa en el baño de agua que está a 25°C, se debe terminar de llenar el recipiente hasta el borde con agua y todo el conjunto debe llegar a los 25°C.
- A continuación se tapa el recipiente, se lo seca completamente y se lo pesa en la balanza, registrando este valor como (E).
- Se debe tener el peso del recipiente lleno con agua únicamente y su tapa, este valor se lo hace por medio de una calibración, este valor se lo registra como (D).
- Para terminar se calcula el porcentaje de vacíos de aire de cada briqueta, utilizando la gravedad especifica Bulk y la gravedad especifica máxima RICE.

4.2.4.4 Cálculos

- Gravedad especifica máxima: Se calcula por medio de la relación entre la masa seca de la muestra (A) y la suma de la masa seca de la muestra (A) con la masa del recipiente lleno de agua (D) y la resta de la masa del recipiente-agua-muestra (E).

$$\text{Formula 4.4: } Gmm = \frac{A}{A+D-E}$$

Dónde:

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

D: Masa de la tapa y recipiente lleno de agua a 25°C (gr).

E: Masa de la tapa, recipiente, agua y muestra a 25°C (gr).

- Porcentaje de vacíos: Se calcula por medio de restar una unidad y la relación entre la gravedad especifica Bulk y la gravedad especifica RICE, y multiplicar por 100.

$$\text{Formula 4.5: } \%\ vacios = \left(1 - \left(\frac{Bulk\ sp\ gr}{Gmm}\right)\right) \times 100$$

Dónde:

Bulk sp gr: Gravedad Específica Bulk.

Gmm: Gravedad Especifica Máxima RISE.

4.2.4.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Tabla # 4.3 Gravedad Especifica Máxima RISE #1 de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Masa de muestra seca en aire (A), g	2501,4
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8813,4
Procedimiento suplementario	NO
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	**2,272**

Tabla # 4.4 Gravedad Especifica Máxima RISE #2 de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Masa de muestra seca en aire (A), g	2500,3
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g	7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g	8826,3
Procedimiento suplementario	NO
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)	**2,300**

Tabla # 4.5 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

	porcentaje de vacios de aire en un asfalto compactado		
briqueta	G.E BULK	Gmm RISE	%(bulk/rise)
	gravedad específica a granel de la muestra	gravedad especifica maxima teorica	Porcentaje de vacíos de aire
1	2,098	2,286	8,227
2	2,071	2,286	9,392
3	2,083	2,286	8,872
4	2,087	2,286	8,686
5	2,071	2,286	9,397
6	2,066	2,286	9,606
7	2,090	2,286	8,566
8	2,085	2,286	8,810
9	2,064	2,286	9,723
10	2,084	2,286	8,856
11	2,089	2,286	8,610
12	2,087	2,286	8,704
13	2,073	2,286	9,299
14	2,077	2,286	9,138
15	2,072	2,286	9,379
16	2,058	2,286	9,978
17	2,090	2,286	8,583
18	2,049	2,286	10,376

Mezcla en Frío.

Tabla # 4.6 Gravedad Especifica Máxima RISE #1 de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Masa de muestra seca en aire (A), g				2213,2
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g				7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g				8722,4
Procedimiento suplementario				SI
Registros del procedimiento suplementario:				
Masa de la bandeja, g				870,7
Masa de bandeja y muestra húmeda, g				3453,3
Ciclo	*Masa, g*	*Diferencia, %*		
1	3353,7	2,88		
2	3332,3	0,64		
3	3313,4	0,57		
4	3294,6	0,57		
5	3276,9	0,54		
6	3258,5	0,56		
7	3242,2	0,50		
8	3224,2	0,56		
9	3208,4	0,49		
10	3192,7	0,49		
11	3177,9	0,46		
12	3161,4	0,52		
13	3144,7	0,53		
14	3131,5	0,42		
15	3120,0	0,37		
16	3109,5	0,34		
17	3103,0	0,21		
18	3099,2	0,12		
19	3096,9	0,07		
20	3095,3	0,05		
21	3094,4	0,03	*superficie seca*	
22	3093,7	0,02	*superficie seca*	
Masa de la muestra con superfice seca (A), g				2223
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)				**2,423**

Tabla # 4.7 Gravedad Especifica Máxima RISE #2 de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Masa de muestra seca en aire (A), g			2226,3
Masa de contenedor y tapa con agua a 25 °C (D), g			7413,0
Masa de contenedor, tapa, muestra y agua a 25 °C (E), g			8731,6
Procedimiento suplementario			SI
Registros del procedimiento suplementario:			
Masa de la bandeja, g			873,2
Masa de bandeja y muestra húmeda, g			3389,3
Ciclo	*Masa, g*	*Diferencia, %*	
1	3348,6	1,20	
2	3328,3	0,61	
3	3310,1	0,55	
4	3290,5	0,59	
5	3271,6	0,57	
6	3252,7	0,58	
7	3235,5	0,53	
8	3214,1	0,66	
9	3195,4	0,58	
10	3177,6	0,56	
11	3159,5	0,57	
12	3145,5	0,44	
13	3134,2	0,36	
14	3126,9	0,23	
15	3121,0	0,19	
16	3118,3	0,09	
17	3116,0	0,07	
18	3115,0	0,03	*superficie seca*
19	3114,5	0,02	*superficie seca*
Masa de la muestra con superfice seca (A), g			2241,3
Gravedad específica máxima teórica (Gmm)			**2,413**

Tabla # 4.8 Porcentaje de Vacíos de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

	porcentaje de vacios de aire en un asfalto compactado		
briqueta	G.E BULK	Gmm RISE	%(bulk/rise)
	gravedad específica a granel de la muestra	gravedad especifica maxima teorica	Porcentaje de vacíos de aire
1	1,684	2,418	30,360
2	1,706	2,418	29,430
3	1,713	2,418	29,150
4	1,654	2,418	31,579
5	1,705	2,418	29,505
6	1,717	2,418	28,991
13	1,746	2,418	27,796
14	1,720	2,418	28,884
15	1,717	2,418	29,007
16	1,707	2,418	29,420
17	1,734	2,418	28,284
18	1,728	2,418	28,523

4.2.4.6 Nota

Como para cada mezcla (caliente o fría) se realizó más de una vez el ensayo se obtuvo un valor promedio de gravedad específica en el caso de la caliente se obtuvo 2,286 y para la fría se obtuvo 2,418. De igual forma para la mezcla en frio se tuvo que realizar el método suplementario porque la mezcla estaba húmeda en el saco de Bitumix y algunas partículas estaban fracturadas y posiblemente con agua en su interior. De la briqueta 7 a la 12 no se realizó ya que debido a su diseño de mezcla diferente a la caliente en un ensayo posterior (estabilidad y flujo) se debía realizar unas condiciones distintas a las muestras, esto se explicara más adelante.

4.2.5 Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Asfálticas: ASTM D 6927

4.2.5.1 Alcance

En este ensayo se determina la resistencia que posee la mezcla asfáltica al flujo plástico, deben considerarse los valores de libra – pulgada como estándar para evitar errores o malas interpretaciones. De igual manera este ensayo solo es para briquetas cilíndricas de 4 pulg (102 mm).

4.2.5.2Equipo

- Cabezal de rotura: Son dos segmentos cilíndricos de hierro fundido los cuales son hechos para colocar las briquetas, una vez colocada la briqueta en estos segmentos se pone en la máquina de carga.
- Prensa Marshall: Puede ser un gato de tornillo u otro tipo de maquinaria, pero debe poder cargar verticalmente una carga a velocidad constante de 2 pulg/min.
- Baño de agua: Debe ser lo suficientemente grande para contener agua y que cubra a las briquetas por encima con un mínimo de 30mm, la temperatura del baño debe ser la misma en cualquier punto.
- Horno: Con capacidad de mantener la temperatura con diferencia de 2 grados.

4.2.5.3 Procedimiento

- Se hacen grupos de 3 briquetas para ser ensayadas, por lo general estos grupos son con briquetas de diferentes diseños pero si es del mismo diseño de igual forma se sub divide en grupos de 3 para facilitar las medidas.
- Se deja enfriar las briquetas y se procede a tomar sus dimensiones como son el espesor y el diámetro con las cuales se obtendrá área y volumen de las briquetas para su posterior corrección y análisis.

- Una vez hecho esto colocar las briquetas en el baño de agua durante 30 o 40 minutos a una temperatura de 60ºC.
- Se hace la rotura de las briquetas.
- Los segmentos de rotura deben estar bien limpios y lubricados con aceite para un mejor manejo y funcionamiento.
- Saque cada briqueta una por una, seque el exceso de agua de la superficie y coloque la briqueta encima del segmento inferior, luego coloque el segmento superior sobre la briqueta y todo el conjunto en la base de la prensa.
- El tiempo transcurrido desde que se retira la briqueta del baño hasta que se hace la rotura no debe ser mayor de 30 segundos, se aplica la carga a la briqueta a una velocidad constante de 2 pulg/min hasta la rotura.
- Con las gráficas proporcionadas de la prensa se procede hacer las correcciones y posteriores lecturas de la estabilidad y flujo de las briquetas.
- En la mezcla en frío la única diferencia es que se tienen dos grupos secos y saturados en las saturadas es el procedimiento normal o estándar y en las secas se las mete en bolsas plásticas selladas y luego se las mete en el baño de agua de igual forma que las saturadas.

4.2.5.4 Cálculos

- Las briquetas analizadas deben cumplir con dimensiones mínimas como un espesor de 2,5 pulg para poder ser corregidas en función de su volumen. De igual manera se corrige la estabilidad en base a una tabla de diferentes volúmenes de briquetas para una mejor interpretación.

Formula 4.6: $A = B \times C$

Dónde:

A: Estabilidad Final o Corregida de la Briqueta lbf/pulg2.

B: Estabilidad Leída en la gráfica obtenida de la maquina lbf/pulg2.

C: Factor de Corrección Basado en el Volumen de la Briqueta.

4.2.5.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Tabla # 4.9 Estabilidad y Flujo de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

	dimensiones					estabilidad y flujo							
	h	d	a	v	v	B	C	A					
briqueta	espesor o altura, mm	diametro, mm	area, mm2	volumen, mm3	volumen, cm3	medida de estabilidad (grafica), carga	relacion de correlacion	estabilidad corregida	flujo	estabilidad promedio de 3 briquetas	flujo promedio de 3 briquetas	estalibilidad mezcla	flujo mezcla
1	69,85	101,69	8121,689389	567300,0038	567,3000038	3375	0,86	2902,5	12	2407,713333	11,93333333	2244,786667	13,09166667
2	69,42	101,83	8144,067582	565361,1715	565,3611715	2475	0,86	2128,5	10,8				
3	68,71	101,96	8164,8749	561008,5544	561,0085544	2549	0,86	2192,14	13				
4	69,02	101,28	8056,33036	556047,9215	556,0479215	2800	0,89	2492	12,5	2123,533333	12		
5	69,82	101,76	8132,874637	567837,3071	567,8373071	2420	0,86	2081,2	11,1				
6	69,42	101,87	8150,467006	565805,4196	565,8054196	2090	0,86	1797,4	12,4				
7	69,53	102,09	8185,708764	569152,3304	569,1523304	2700	0,86	2322	13,5	2151,433333	13,03333333		
8	69,35	101,62	8110,511838	562463,996	562,463996	2450	0,86	2107	11				
9	70,23	101,7	8123,28681	570498,4327	570,4984327	2355	0,86	2025,3	14,6				
10	69,25	102,77	8295,118498	574436,956	574,436956	2200	0,83	1826	15	2296,466667	15,4		
11	68,11	102,17	8198,542798	558402,75	558,40275	2800	0,89	2492	15,7				
12	69,29	101,75	8131,276273	563416,133	563,416133	2990	0,86	2571,4	15,5				

Mezcla en Frío.

Tabla # 4.10 Estabilidad y Flujo de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

	dimensiones					estabilidad y flujo							
	h	d	a	v	v	B	C	A					
briqueta	espesor o altura, mm	diametro, mm	area, mm2	volumen, mm3	volumen, cm3	medida de estabilidad (grafica), carga	relacion de correlacion	estabilidad corregida	flujo	estabilidad promedio de 3 briquetas	flujo promedio de 3 briquetas	estalibilidad mezcla	flujo mezcla
1 saturada	68,61	101,58	8104,128122	556024,2304	556,0242304	1275	0,89	1134,75	14,2				
2 saturada	68,41	101,25	8051,558359	550807,1074	550,8071074	1348	0,89	1199,72	13,1	1156,406667	13,23333333		
3 saturada	69,46	101,24	8049,968007	559150,7777	559,1507777	1275	0,89	1134,75	12,4				
4 saturada	70,5	101,42	8078,618389	569542,5964	569,5425964	925	0,86	795,5	12,5				
5 saturada	68,03	102,14	8193,728857	557419,3742	557,4193742	1310	0,89	1165,9	13,7	1021,666667	12,73333333		
6 saturada	68,46	101,35	8067,470526	552299,0322	552,2990322	1240	0,89	1103,6	12				
7 seco	68,09	101,6	8107,319666	552027,396	552,027396	1250	0,89	1112,5	13,7			1146,974167	14,16666667
8 seco	75,48	101,52	8094,55726	610977,182	610,977182	1420	0,86	1221,2	18,2	1156,15	16,23333333		
9 seco	68,61	101,32	8062,695227	553181,5195	553,1815195	1275	0,89	1134,75	16,8				
10 seco	68,37	101,39	8073,839791	552008,4265	552,0084265	1300	0,89	1157	15,5				
11 seco	66,31	102,39	8233,888229	545989,1285	545,9891285	1510	0,93	1404,3	14,9	1253,673333	14,46666667		
12 seco	68,47	101,53	8096,152011	554343,5282	554,3435282	1348	0,89	1199,72	13				

4.2.5.6 Nota

En cada mezcla (caliente o fría) se realizó varias roturas y se obtuvo un valor promedio en el caso de la caliente para la estabilidad se obtuvo 2 244,79 lbf/pulg2 y para el flujo se obtuvo 13,09 (0,01 pulg) y para el caso de la fría en estabilidad se obtuvo 1 146,97 lbf/pulg2 y en el flujo se obtuvo 14,17 (0,01 pulg).

4.2.6 Determinación de Susceptibilidad a la Humedad de las Mezclas Asfálticas (TSR): ASTM D 4867 / AASHTO T 283

4.2.6.1 Alcance

El objetivo de esta norma es ver el comportamiento de las mezclas asfálticas con relación al efecto del agua sobre la resistencia a la tracción. Es decir evalúa como afecta la humedad a la composición y resistencia del asfalto en condiciones extremas de climas.

Este ensayo trata de simular las condiciones del campo o reales a las que la mezcla estará sometida por eso acepta mezclas con vacíos de 6 al 8 % y separando a las muestras o briquetas en dos grupos cada uno con contenido de vacíos similares. Manteniendo un grupo seco y al otro parcialmente saturado con agua y húmedo, la resistencia de cada grupo se determina por rotura. El potencial de daño es la relación entre las resistencias de los dos grupos.

4.2.6.2 Equipo

- Compactadores: Para este ensayo se puede utilizar el procedimiento de compactación de la norma del moldeo Marshall ASTM D 6926, explicada anteriormente.
- Bomba de vacío: Se puede utilizar la bomba de la norma de Gravedad Especifica Máxima (RICE) ASTM D 2041, explicada anteriormente.

- Manómetro de vacío: Se puede utilizar el manómetro de la norma de Gravedad Especifica Máxima (RICE) ASTM D 2041, explicada anteriormente.
- Recipiente o tazón: Puede utilizarse el recipiente de la norma de Gravedad Especifica Máxima (RICE) ASTM D 2041, explicada anteriormente.
- Balanza: Puede utilizarse la balanza de la norma de Gravedad Especifica/Densidad (BULK) ASTM D 2726, explicada anteriormente.
- Baño de agua: Se puede utilizar el baño de agua de la norma de Gravedad Especifica/Densidad (BULK) ASTM D 2726, explicada anteriormente.
- Cabezal de rotura tipo Lottman: Son dos segmentos cilíndricos de hierro fundido los cuales son hechos para colocar las briquetas, una vez colocada la briqueta en estos segmentos se pone en la máquina de carga, son ligeramente diferentes a los segmentos de la norma Estabilidad y Flujo ASTM D 6927 ya que su manera de aplicar la carga es de manera, posición y área distinta.
- Prensa Marshall: Puede utilizarse la prensa de la norma de Estabilidad y Flujo ASTM D 6927, explicada anteriormente.

4.2.6.3 Procedimiento

- Una vez que se tienen las briquetas se las identifica y separa en los 2 grupos, cada uno con un porcentaje de vacío similar, esto se lograr una vez realizado el ensayo de gravedad especifica BULK a las briquetas.
- Para el grupo de muestras secas se las coloca en el baño de agua a 25°C por 20 minutos, se los seca superficialmente y se procede a la rotura en la maquina registrando los valores de la carga de rotura.
- Para el grupo de muestras saturadas se las debe colocar en el recipiente de vacío aplicando 525 mm Hg por un periodo de tiempo considerable, se las pesa

sumergidas en agua y se las pesa con su superficie parcialmente seca una vez hecho esto se debe comprobar el porcentaje de saturación que debe estar entre 55 – 80 %. Caso contrario se repite este proceso hasta alcanza dicho rango de saturación.

- Llegado al porcentaje de saturación se envuelve las briquetas en dos capas plásticas con cinta asegurando de estar completamente selladas.
- Se coloca las briquetas selladas en plástico en una funda o bolsa plástica con al menos 3 ml de agua destilada y se sella la bolsa.
- Se las pone en colegiación de -18°C aproximadamente por 15 horas.
- Cumplido este periodo de tiempo se las retira del congelador y se las sumerge en un baño de agua a 60°C por 3 minutos, después se saca las briquetas de la bolsa y se rompe las capas plásticas de igual manera.
- Debe pasar 24 horas después de haber retirado la bolsa y capas plásticas para colocar las briquetas en otro baño de agua a 25°C por 1 hora, posterior a eso se mide las dimensiones de las muestras.
- Se procede a la rotura en la maquina registrando los valores de la carga de rotura.

4.2.6.4 Cálculos

- La resistencia a la tracción se calcula mediante dos posibilidades dependiendo de las unidades de medida que se use pero la más común o más usadas son unidades psi.

Formula 4.7: $St = \frac{2\,P}{\pi\,t\,D}\ (psi)$

Dónde:

P: Carga máxima Registrada (N o lbf).

D: Diámetro de la Briqueta (mm o in).

t: Espesor de la Briqueta (mm o in).

Formula 4.8: $St = 2000\ P\ \pi\ t\ D\ (kPA)$

Dónde:

P: Carga máxima Registrada (N o lbf).

D: Diámetro de la Briqueta (mm o in).

t: Espesor de la Briqueta (mm o in).

- Los datos de diámetro y espesor son justo antes de la rotura, siendo estos datos de cada una de las briquetas de cada grupo analizado (secas/húmedas).
- Ahora la relación de resistencia a la tracción o TSR se calcula u obtiene mediante la relación entre la resistencia media a la tracción del conjunto húmedo (Stm) sobre la resistencia media a la tracción del conjunto seco (Std) y multiplicado por cien.

Formula 4.9: $TSR = \frac{Stm}{Std} \times 100$

Dónde:

Stm: Resistencia Media a la Tracción Húmeda (N o lbf).

Std: Resistencia Media a la Tracción Seca (N o lbf).

4.2.6.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Tabla # 4.11 Susceptibilidad a la Humedad TSR de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Identificación de la muestra		BRIQUETA 15	BRIQUETA 16	BRIQUETA 18	BRIQUETA 13	BRIQUETA 14	BRIQUETA 17
Aditivo							
Dosis aditivo							
Compactación		Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Diámetro promedio, mm	*D*	101,90	101,65	101,81	101,94	101,78	101,85
Espesor promedio, mm	*t*	69,44	71,13	71,12	70,06	69,75	69,67
Masa seca en aire, g	*A*	1130,97	1131,36	1132,53	1131,85	1134,07	1147,45
Masa en agua, g	*C*	596,95	596,92	595,62	600,07	601,00	606,80
Masa saturada con superfice seca, g	*B*	1142,88	1146,67	1148,38	1145,94	1146,97	1155,86
Volumen, cm^3	*E*	545,93	549,75	552,76	545,87	545,97	549,06
Gravedad específica Bulk	*F*	2,072	2,058	2,049	2,073	2,077	2,090
Gravedad específica máxima teórica	*G*	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286	2,286
Porcentaje de vacíos de aire	*H*	9,4	10,0	10,4	9,3	9,1	8,6
Volumen de vacíos de aire	*I*	51,2	54,8	57,3	50,7	49,9	47,1
Carga, lbf	*P*	1760	1500	1670			
Muestras saturadas							
Tiempo, min					20	15	15
Presión de vacío, mm Hg					525,0	525,0	525,0
Masa en agua, g	C'				610,77	612,73	620,61
Masa saturada con superfice seca, g	B'				1169,15	1167,85	1176,88
Volumen, cm^3	E'				558,4	555,1	556,3
Volumen absorbido de agua	J'				37,3	33,8	29,4
% Saturación					73,5	67,7	62,5
% Hinchamiento					2,3	1,7	1,3
Muestras condicionadas en agua a 60 °C por 2		*Muestras sometidas a congelamiento/descongelamiento*					**SI**
Espesor, mm	t'				69,98	69,84	69,54
Masa en agua, g	C"				619,76	617,09	621,68
Masa saturada con superfice seca, g	B"				1175,78	1173,67	1183,00
Volumen, cm^3	E"				556,0	556,6	561,3
Volumen absorbido de agua	J"				43,9	39,6	35,6
% Saturación					86,6	79,4	75,5
% Hinchamiento					1,9	1,9	2,2
Carga, lbf	P'				1520	1360	1650
Resistencia seca, psi		102	85	95			
Resistencia húmeda, psi					88	79	96
Resistencia seca promedio, psi	Std	94					
Resistencia húmeda promedio, psi	Stm	87					
Relación de resistencia a tensión (TSR)		**92,8**					
Daño por humedad evaluado visualmente		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Agregado Fisurado/Roto		NO	NO	NO	NO	NO	NO

Mezcla en Frío.

Tabla # 4.12 Susceptibilidad a la Humedad TSR de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Identificación de la muestra		BRIQUETA 13	BRIQUETA 17	BRIQUETA 18	BRIQUETA 14	BRIQUETA 15	BRIQUETA 16
Aditivo							
Dosis aditivo							
Compactación		Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta	Briqueta
Diámetro promedio, mm	*D*	101,26	101,62	101,76	101,57	101,71	101,56
Espesor promedio, mm	*t*	68,84	67,24	66,93	67,61	67,69	68,17
Masa seca en aire, g	*A*	900,53	897,46	894,33	896,97	895,92	895,05
Masa en agua, g	*C*	410,61	405,40	398,90	398,20	398,88	401,61
Masa saturada con superfice seca, g	*B*	926,41	922,94	916,36	919,82	920,79	926,07
Volumen, cm^3	*E*	515,80	517,54	517,46	521,62	521,91	524,46
Gravedad específica Bulk	*F*	1,746	1,734	1,728	1,720	1,717	1,707
Gravedad específica máxima teórica	*G*	2,258	2,258	2,258	2,258	2,258	2,258
Porcentaje de vacíos de aire	*H*	22,7	23,2	23,5	23,8	24,0	24,4
Volumen de vacíos de aire	*I*	117,0	120,1	121,4	124,4	125,1	128,1
Carga, lbf	*P*	225	300	300			
Muestras saturadas							
Tiempo, min					15	10	15
Presión de vacío, mm Hg					525,0	525,0	525,0
Masa en agua, g	C'				441,76	442,05	447,50
Masa saturada con superfice seca, g	B'				977,00	973,21	982,94
Volumen, cm^3	E'				535,2	531,2	535,4
Volumen absorbido de agua	J'				80,0	77,3	87,9
% Saturación					64,3	61,8	68,6
% Hinchamiento					2,6	1,8	2,1
Muestras condicionadas en agua a 60 °C por 2		*Muestras sometidas a congelamiento/descongelamiento*					**SI**
Espesor, mm	t'				68,39	67,53	67,55
Masa en agua, g	C''				473,78	472,89	478,35
Masa saturada con superfice seca, g	B''				1008,69	1007,20	1012,43
Volumen, cm^3	E''				534,9	534,3	534,1
Volumen absorbido de agua	J''				111,7	111,3	117,4
% Saturación					89,8	88,9	91,7
% Hinchamiento					2,5	2,4	1,8
Carga, lbf	P'				125	125	125
Resistencia seca, psi		13	18	18			
Resistencia húmeda, psi					7	7	7
Resistencia seca promedio, psi	Std	16					
Resistencia húmeda promedio, psi	Stm	7					
Relación de resistencia a tensión (TSR)		**45,3**					
Daño por humedad evaluado visualmente		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Agregado Fisurado/Roto		NO	NO	NO	NO	NO	NO

4.2.6.6 Nota

En cada mezcla (caliente o fría) se realizó varias roturas dando como resultado en la mezcla en caliente de resistencia a la tracción en el grupo seco de 94 psi y resistencia a la tracción en el grupo húmedo de 87 psi finalmente un TSR de 92,8 %. Ahora el resultado en la mezcla en frío de resistencia a la tracción en el grupo seco de 16 psi y resistencia a la tracción en el grupo húmedo de 7 psi finalmente un TSR de 45,3 %.

4.2.7 Módulo de Rigidez de Mezclas Asfálticas: BS EN 12697-26

4.2.7.1 Alcance

Este ensayo permite caracterizar las mezclas asfálticas según su rigidez y comportamiento estructural, es decir su capacidad de resistir y su manera de comportarse a las cargas vehiculares. Cabe mencionar que este ensayo es para muestras o briquetas cilíndricas compactadas sea en laboratorio o en el campo pero con espesores entre 30 – 75 mm y diámetros entre 80 – 200 mm respectivamente, de igual forma se deben analizar mínimo 3 o 4 briquetas por mezcla para garantizar una interpretación adecuada.

4.2.7.2 Equipo

- Maquina universal COOPER HYD25: Es una maquina marca COOPER capaz de aplicar carga a diferentes muestras en el rango de 50 a 200 MPa y controlar la temperatura de su cámara en un rango de -15°C a 60°C, que con ayuda de un computador provisto de controles le permite programar y controlar ensayos de fuerza, deformación, etc. De igual manera se ayuda de un software para poder registrar datos de fuerza, carga, deformación unitaria o desplazamiento de las muestras por medio de frecuencias que van entre 0 a 70 Hz.

- Molde de ensayo: Es un accesorio diseñado específicamente para colocar las briquetas, sujetarlas sin que se mueva, poder aplicar carga y conectar unos dispositivos capaces de leer y registrar deformaciones llamados LVDTS.

4.2.7.3 Procedimiento

- Una vez se tengan las muestras ya sean por compactación, núcleos extraídos, etc. Se debe seleccionar un grupo de 3 a 4 muestras con densidades similares para poder realizar el ensayo.
- Se debe mantener las muestras a la temperatura que se realizara el ensayo por unas 4 horas antes del ensayo, esto puede depender de la temperatura de la zona donde se construirá la vía, la temperatura de la región o de otras decisiones del ingeniero.
- Completado este periodo de tiempo se procede a colocar las muestras en el molde de ensayo una por una, se las sujeta y conecta los LVDTS.
- Se enciende la máquina y se procede a comenzar el ensayo aplicando carga a diferentes frecuencias. Se aplican 10 pulsos de acondicionamiento antes de que se comiencen a registrar los valores, el tiempo necesario es de aproximadamente 124 ms (milisegundos) donde se lograría alcanzar la deformación deseada.
- Luego se alcanzar la deformación se aplican 5 pulsos adicionales para medir la variación de carga que fue aplicada y la deformación de la muestra.
- A continuación se repite el ensayo en la misma muestra pero se debe realizar un giro alrededor de su eje de unos 90°.

4.2.7.4 Cálculos

La Máquina universal COOPER HYD25 realiza todos los cálculos y ajustes pertinentes.

4.2.7.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Tabla # 4.13 Módulo de Rigidez de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Muestra N°	Tiempo de Carga (ms)	Deformación Horizontal (um)	Tensión Horizontal (Kpa)	Módulo de Rigidez Medido (Mpa)	Módulo de Rigidez Ajustado (Mpa)
1B	129	5,724	45,5	760	758
3A	138	21,007	152,4	816	823
4	100	5,575	61,1	1085	1098
6C	130	8,414	65,3	830	841
1N	131	2,113	33,7	1649	1642
3N	144	3,146	33,9	1022	1031
4N	184	19,171	159,4	782	770
6N	100	7,91	118,2	1470	1492

Mezcla en Frío.

Tabla # 4.14 Módulo de Rigidez de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Muestra N°	Tiempo de Carga (ms)	Deformación Horizontal (um)	Tensión Horizontal (Kpa)	Módulo de Rigidez Medido (Mpa)	Módulo de Rigidez Ajustado (Mpa)
2N	180	6,114	41,4	688	705
3N	127	13,673	70,2	535	529
4N	82	2,73	19,2	683	715

4.2.7.6 Nota

En cada mezcla (caliente o fría) se realizó varios ensayos dando como resultado en la mezcla en caliente un módulo de rigidez promedio de 880 MPa. Ahora en la mezcla en frío no se pudo realizar el ensayo por problemas con la mezcla en sí, ya que no pudo resistir la carga aplicada por Maquina universal COOPER HYD25 y se desmoronaba o destruía. No obstante con las muestras del ensayo de Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62 se procedió a cortar los núcleos en dos partes dando así como resultado dos briquetas por núcleo que cumplen con las dimensiones para poder ensayarlas, dando como resultado en la mezcla en caliente un módulo de rigidez promedio de 1233,75

MPa de los núcleos y en la mezcla en frío un módulo de rigidez promedio de 649,67 MPa de los núcleos.

Figura # 4.1

Briqueta ensayada



Figura # 4.2

Briqueta ensayada



Figura # 4.3

Briqueta ensayada



4.2.8 Moldeo en Compactador Giratorio para Mezclas Asfálticas: AASHTO T 312

4.2.8.1 Alcance

Este ensayo abarca la mezcla y compactación de muestras cilíndricas de mezcla asfáltica con el Compactador Giratorio Superpave. Su finalidad es poder determinar o simular las propiedades físicas, densidad, colocación de los agregados y características estructurales que tendrá la mezcla una vez colocada en sitio o en la obra. Cabe mencionar que este ensayo es para muestras o briquetas cilíndricas compactadas sea en laboratorio o en el campo pero con espesores entre 150 mm y diámetros entre 101,6 mm respectivamente, de igual forma se deben analizar mínimo 3 o 4 briquetas por mezcla para garantizar una interpretación adecuada.

4.2.8.2 Equipo

- Compactador giratorio: Puede ser electromecánico, electrohidráulico, etc. Pero debe ser capaz de girar a 30 rpm y mantener un ángulo de giro constante de 1,16° internamente y de 1,25° externamente, de igual forma garantizar que se aplicara una presión entre 540 - 660 KPa en los primeros 5 giros y una presión entre 582 –

618 KPa en los giros restantes. Este compactador debe lograr girar mínimo 250 giros a la muestra.

- Molde: Debe ser de acero con diámetro de 100 mm o 150 mm y una altura de 250 mm con sus respectivas bases.
- Balanza: Capaz de pesar una mase de 6000 gr y tener una variación de 0,1 gr.
- Horno: Capaz de mantener una temperatura de 204°C para almacenamiento de muestras y moldes.

4.2.8.3 Procedimiento

- Una vez se tenga la mezcla asfáltica lista (baches) se procede a tomar el molde colocar su base y poner un papel filtro en el fondo del molde.
- Poner la mezcla asfáltica dentro del molde en una sola capa simulando la colocación de las volquetas en sitio.
- Se nivela la mezcla y se coloca un papel filtro en la parte superior de la muestra.
- Ubicar el molde con la muestra en el compactador giratorio e iniciar con el proceso de compactación, verificar que se cumplan los parámetros de presión entre 540 - 660 KPa en los primeros 5 giros y una presión entre 582 – 618 KPa en los giros restantes y ángulo de giro constante de 1,16° internamente y de 1,25° externamente.
- Dejar que el compactador realice el proceso completamente, una vez terminado retirar el molde.
- Dejar enfriar o reposar la mezcla en el molde y desmoldar.

4.2.8.4 Cálculos

No se realizan cálculos en esta Norma.

4.2.8.5 Resultados

No se obtienen resultados en esta Norma.

4.2.8.6 Nota

Para las dos mezclas (caliente o fría) se moldearon 6 cilindros para posteriormente realizar una extracción de núcleos en el caso de la mezcla en caliente se dejó reposar o enfriar la muestra en el molde por unos el tiempo necesario en que se enfrié a temperatura ambiente mientras que la mezcla en frio se la dejo por 24 horas debido a que esta mezcla necesita más tiempo para alcanzar condiciones aceptables y se usó otro molde de diámetro inferior para simular un núcleo ya extraído y poder realizar el ensayo de Modulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62.

4.2.9 Extracción y Preparación de Núcleo de Mezclas Asfálticas: ASTM D 5361

4.2.9.1 Alcance

Con esta práctica se pueden obtener muestras asfálticas de dimensiones adecuadas para determinar varios parámetros de una mezcla asfáltica y comprobar su efectividad sin tener limitaciones de su forma. La finalidad de dicho proceso es la obtención de núcleos de la muestra cilíndrica moldeada del ensayo de Moldeo en Compactador Giratorio para Mezclas Asfálticas: AASHTO T 312. Para poder ser analizadas posteriormente en la Maquina universal COOPER HYD25 ya que con esta táctica se puede extraer muestras con las dimensiones que el ensayo de Modulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62 solicita.

4.2.9.2 Equipo

- Taladro extractor de núcleos: Puede ser eléctrico o a gasolina, pero debe tener un motor potente de al menos 6 HP para poder cortar con facilidad las muestras. Se lo

usa con agua de igual forma para mejorar el corte y mantener frío todo el equipo, tiene piezas desmontables para el cambio de broca o un sistema de alineación para extraer núcleos adecuados. Su broca debe ser de acero u otro material adecuado que pueda cortar con un diámetro mínimo de 100mm (4 pulg).

- Molde de muestra: En este molde que posee piezas ajustables por medio de pernos, se coloca la muestra cilíndrica para asegurar y garantizar que no se mueva durante el proceso de extracción ya que esto puede ocasionar la destrucción de la muestra o núcleos inadecuados para el ensayo. De igual manera se recomienda sujetar o anclar el molde al suelo para un mejor agarre.
- Manguera de agua: Capas de ser conectada al taladro para suministrar un flujo constante de agua y facilitar la extracción del núcleo.

4.2.9.3 Procedimiento

- Colocar la muestra en el molde inmovilizar correctamente y garantizar que la muestra no pueda moverse sujetando los pernos, sujetar el molde al suelo para lograr que se mantenga estático el conjunto molde – muestra.
- Alinear el taladro con el molde para obtener una muestra lo más centrada de la muestra que se pueda. Se debe conectar la manguera de agua para estar listos con el flujo constante.
- encender el taladro sea eléctricamente o por gasolina, abrir el paso del agua y comenzar con el proceso de extracción. Este proceso puede variar en tiempo dependiendo de la experiencia del operador y del taladro y sus características.
- Una vez terminada la perforación apagar el taladro levantar la broca, si el núcleo se encuentra dentro de la broca se puede proceder a mover el taladro para obtenerlo, caso contrario solo se toma el núcleo y se lo deja secar a temperatura ambiente.

- A continuación se retira el molde se afloja los pernos para retirar la muestra restante, se lo limpia y se procede a colocar otra muestra y repetir el procedimiento.

4.2.9.4 Cálculos

No se realizan cálculos en esta Norma.

4.2.9.5 Resultados

No se obtienen resultados en esta Norma.

4.2.9.6 Nota

En el caso de la mezcla en caliente se procedió de forma normal con la extracción de los núcleos, llegando a tener 6. Pero en el caso de la mezcla en frio no se realizó este procedimiento debido a que la mezcla no resiste la extracción, por esta razón en el ensayo de Moldeo en Compactador Giratorio para Mezclas Asfálticas: AASHTO T 312 se usó otro molde de diámetro inferior para simular un núcleo ya extraído y poder realizar el ensayo de Modulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62.

4.2.10 Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62

4.2.10.1 Alcance

Este ensayo permite caracterizar las mezclas asfálticas según su rigidez y comportamiento estructural, es decir su capacidad de resistir y su manera de comportarse a las cargas vehiculares. Cabe mencionar que este ensayo es para muestras o núcleos cilíndricos con espesores entre 130 – 150 mm y diámetros entre 80 – 200 mm respectivamente, de igual forma se deben analizar mínimo 2 o 4 núcleos por mezcla para garantizar una interpretación adecuada.

4.2.10.2 Equipo

- Maquina universal COOPER HYD25: Es una maquina marca COOPER capaz de aplicar carga a diferentes muestras en el rango de 50 a 200 MPa y controlar la temperatura de su cámara en un rango de -15°C a 60°C, que con ayuda de un computador provisto de controles le permite programar y controlar ensayos de fuerza, deformación, etc. De igual manera se ayuda de un software para poder registrar datos de fuerza, carga, deformación unitaria o desplazamiento de las muestras por medio de frecuencias que van entre 0 a 70 Hz.
- Molde de ensayo: Es un accesorio diseñado específicamente para colocar las briquetas, sujetarlas sin que se mueva, poder aplicar carga y conectar unos dispositivos capaces de leer y registrar deformaciones llamados LVDTS.

4.2.10.3 Procedimiento

- Cuando ya se tiene los núcleos se procede a colocar los nodos (elementos de acero donde se colocan las bases de los LVDTS) mediante un pegamento que es una mezcla de resina y pegante. Esto se hace mínimo un día antes y se los deja secar.
- Se debe iniciar con el acondicionamiento de los núcleos a las temperaturas que se van a ensayar, como el ensayo pide que la carga se aplique a diferentes temperaturas (-10°C, 4°C, 21°C, 37°C y 54°C) cada una de ellas tiene un tiempo de acondicionamiento o permanencia de los núcleos en la cámara de la máquina. (durante la noche, 4 horas o durante la noche, 3 horas, 2 horas, 1 hora).
- Una vez cumplido el tiempo de acondicionamiento se procede a ubicar los núcleos en el molde de ensayo, es decir primero la base luego encima el núcleo y encima de este otra base, se colocan las bases de los LVDTS y se introduce en la maquina universal todo el conjunto.

- Se colocan los LVDTS y se procede a iniciar el ensayo, el tiempo que dura el ensayo es alrededor de 15 minutos por núcleo.
- La máquina somete al núcleo a diferentes frecuencias (0,1 Hz, 0,5 Hz, 1,5 Hz, 10 Hz y 25 Hz) donde en los primeros minutos se estabiliza automáticamente para posteriormente continuar con el ensayo aplicando cargas que van entre 35 a 2800 KPa dependiendo de la temperatura que se vaya a ensayar, siendo necesarias cargas mayores a temperaturas inferiores.
- Cumplido el tiempo se procede a retirar los LVDTS, el conjunto molde – núcleo, las bases de los LVDTS y se limpia todo para continuar con la siguiente muestra y repetir el ensayo.

4.2.10.4 Cálculos

La Máquina universal COOPER HYD25realiza todos los cálculos y ajustes pertinentes.

4.2.10.5 Resultados

Mezcla en Caliente.

Temperatura -10°C

Tabla # 4.15 Módulo Dinámico a -10°C de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Temperatura -10 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	6932,50	5978,20	4995,50	3488,20	2798,20	1912,60
B2	4514,00	4121,20	3737,40	2820,70	2510,80	1632,20
B3	11755,80	10081,80	9763,70	8877,00	8313,20	6838,50
B4	10618,80	9065,70	7817,50	5518,90	4393,50	2721,60
B5	8669,70	7296,10	6227,60	4421,80	3411,40	2166,70
B6	9030,30	7538,30	6585,70	4663,00	3965,50	2569,70
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 5°C

Tabla # 4.16 Módulo Dinámico a 5°C de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Temperatura 5 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	17613,40	16337,00	14817,80	11630,70	10333,30	7766,80
B2	10403,80	9883,10	9413,50	7468,80	6780,70	5205,20
B3	16724,70	15150,00	13791,50	10449,00	9066,70	6733,90
B4	12983,70	11741,30	10748,30	8368,90	7507,50	5734,50
B5	13055,20	11311,80	10043,60	7251,30	6382,20	4610,10
B6	13660,60	12074,90	11125,10	8511,80	7633,80	5597,40
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 25°C

Tabla # 4.17 Módulo Dinámico a 25°C de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Temperatura 25 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	7430,40	6256,60	5554,90	3731,40	3157,60	2135,80
B2	4926,00	4601,10	4131,70	2858,20	2419,90	1727,60
B3	6921,80	5674,80	4785,10	3211,40	2678,70	1795,90
B4	6140,10	4933,00	4190,70	2743,80	2370,90	1676,70
B5	5995,30	5020,70	4292,20	2646,30	2246,40	1613,40
B6	7016,30	6108,50	5385,70	3846,90	3235,80	2246,10
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 40°C

Tabla # 4.18 Módulo Dinámico a 40°C de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Temperatura 40 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	2925,10	77,10	27,90	21,40	867,60	692,00
B2	2276,70	20,40	1503,60	19,00	854,00	533,70
B3	2342,90	1627,40	1050,00	570,20	6,80	766,40
B4	227469,20	241363,10	140455,80	133271,30	93371,70	68443,40
B5	139,40	14,10	939,40	730,30	425,60	538,40
B6	2922,50	44,00	1839,80	1319,40	1001,00	709,10
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 50°C

Tabla # 4.19 Módulo Dinámico a 50°C de la Mezcla Asfáltica en Caliente (EPMMOP).

Temperatura 50 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	1950,50	41,60	1082,80	1089,30	773,40	506,90
B2	462,00	9,20	781,50	515,30	600,20	347,00
B3	21,50	1430,70	817,70	592,60	507,70	480,50
B4	3,30	152,70	659,20	657,00	509,40	437,50
B5	44,10	615,80	880,40	578,40	428,00	370,20
B6	209,40	824,50	869,20	561,80	448,40	355,90
	Módulos (Mpa)					

Mezcla en Frío.

Temperatura -10°C

Tabla # 4.20 Módulo Dinámico a -10°C de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Temperatura -10 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	11912,00	11217,30	10333,00	8342,50	7631,30	6114,70
B2	12801,50	12413,30	11413,40	9307,00	8402,90	6887,60
B3	17978,60	17724,50	16594,70	13843,60	12721,50	10552,00
B4	18148,90	19274,50	17433,90	13784,90	12169,40	9864,20
B5	14759,20	14206,00	12860,10	9992,40	8901,60	7073,70
B6	15326,50	15160,40	14094,00	11241,20	10092,20	8323,30
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 5°C

Tabla # 4.21 Módulo Dinámico a 5°C de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Temperatura 5 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	9023,90	8078,60	7387,60	5796,20	5170,10	3983,00
B2	9583,80	8545,80	7673,90	5995,50	5347,90	4070,40
B3	12216,00	11471,60	10438,10	8377,30	7470,20	5814,50
B4	14199,70	13229,40	11998,70	9414,40	8312,50	6473,50
B5	9432,90	8558,10	7538,40	5697,70	4906,80	3731,30
B6	12308,50	11833,40	10622,70	8338,20	7402,90	5736,70
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 25°C

Tabla # 4.22 Módulo Dinámico a 25°C de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Temperatura 25 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	4121,90	3581,70	3139,10	238,50	1913,60	1375,40
B2	3685,20	3025,60	2111,30	1315,50	1996,00	660,10
B3	5116,20	4325,80	3760,00	2619,70	2302,10	1390,30
B4	5500,00	4554,00	3934,50	2693,60	2296,90	1572,00
B5	3493,70	2830,00	2433,50	1621,10	1320,50	875,00
B6	5167,50	4337,50	3739,60	2624,90	2294,60	93,80
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 40°C

Tabla # 4.23 Módulo Dinámico a 40°C de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Temperatura 40 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	2048,20	3202,50	281,70	851,80	737,00	623,80
B2	227,60	18,90	630,70	14,50	11,00	49,70
B3	2000,20	290,90	155,70	594,30	55,70	432,60
B4	2224,20	1039,10	703,00	538,70	39,20	336,90
B5	21,00	819,10	26,10	456,60	370,80	272,40
B6	620,80	702,50	29,60	437,60	471,10	32,70
	Módulos (Mpa)					

Temperatura 50°C

Tabla # 4.24 Módulo Dinámico a 50°C de la Mezcla Asfáltica en Frío (BITUMIX).

Temperatura 50 °C						
	Frecuencias (Hz)					
Muestra	25	10	5	1	0,5	0,1
B1	1495,50	841,10	141,40	472,60	431,20	372,30
B2	30,60	30,60	2,80	2,80	0,00	0,00
B3	709,90	624,10	6,80	1,10	9,20	1,40
B4	147,20	147,20	53,60	53,60	1056376,00	0,00
B5	2,60	285,80	633,50	382,90	319,60	0,00
B6	24,10	7,80	600,90	19,70	0,20	0,00
	Módulos (Mpa)					

4.2.10.6 Nota

Para ambas mezclas (caliente o fría) se ensayó 6 núcleos cada uno a 5 temperaturas, en la mezcla en caliente no se evidencia ningún tipo de problema sin embargo en la mezcla en frío cuando se ensayó a temperaturas elevadas los núcleos no soportaban y se desmoronaban o destruían, en ocasiones la maquina prosiguió con el ensayo y en otras se detuvo ya que la muestra era inservible. Es por esta razón que en ciertos ensayos no se registraron algunos valores.

Figura # 4.4

Briqueta ensayada



Figura # 4.5

Briqueta ensayada



Figura # 4.6

Briqueta ensayada



Capítulo 5

5.1 Conclusiones

La investigación realizada en este trabajo de disertación, me permitió establecer conclusiones puntuales y sistemáticas que alcancé en el transcurso del proceso, las mismas que aportaron significativamente para continuar con mi proceso educativo. Las conclusiones a las que llegue son:

Para la mezcla asfáltica en caliente de la EPMMOP (Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Publicas), según el diseño de su mezcla se puede observar que es una Mezcla de Graduación Densa, por lo que se la calificara según esas condiciones.

- Se debe tener un porcentaje de vacíos entre el 3% al 5% pero en la investigación se obtuvo un promedio de 9% por lo que no cumple con el rango necesario. Esto significa que la mezcla no estaría bien graduada o que los porcentajes de los agregados son incorrectos, generando mucho más espacio entre las partículas que no se llenan por completo con el asfalto permitiendo el paso al agua u otros agentes que las puedan llenar. En el caso del agua esta lava la mezcla generando que se desmorone y no se mantenga compactada, generando fallas como baches, fisuras, etc.
- Se debe tener una estabilidad igual o superior de 2 200 lb/pulg2 y la investigación dio como resultado un valor de 2 245 lb/pulg2 con lo que sí está cumpliendo lo necesario para poder soportar los esfuerzos de las cargas vehiculares de la ciudad de Quito. No obstante se puede considerar que es una mezcla muy rígida.
- Se debe tener un flujo entre 8 a 14 centésima de pulgada en la investigación se obtuvo un valor promedio de 13 centésimas de pulgada, estando dentro de los

parámetros necesarios para soportar las deformaciones, sin embargo es un valor cercano al límite superior lo que significa que es una mezcla muy plástica con tendencia a deformarse fácilmente por las cargas que actúen en ella.

- Hablando de la relación de resistencia a la tensión indirecta o TSR se especifica que debe ser superior al 80%, en la investigación realizada se obtuvo un valor de 92,8% pasando por mucho el valor mínimo requerido. Esto quiere decir que con respecto al cambio de temperatura o humedad que podría afectar a la mezcla en la ciudad de Quito esta se adapta perfectamente y puede soportar sin ningún problema.
- Si hablamos del módulo de rigidez que debería tener la mezcla para tener un buen comportamiento elástico - estructural se especifica que debe ser mínimo 2 000 MPa, en la investigación se obtuvo un valor promedio de 1 057 MPa. Esto se traduce a que la mezcla en si no tiene un comportamiento elástico sino más bien puede mostrar un comportamiento plástico, que al momento de presentar deformaciones se conservan y no se pierden dejando una falla en la estructura que no se mantiene.
- En cuanto al módulo dinámico en manual del MTOP no especifica un rango o parámetros en cuanto a mezclas asfálticas, no obstante en la norma utilizada para el ensayo (AASHTO TP 62) proporciona una tabla de posibles rangos de esfuerzo a las temperaturas del ensayo, siendo: -10°C entre 1400 – 2800 KPa; 4°C entre 700 – 1400 KPa; 21°C entre 350 – 700 KPa; 37°C entre 140 – 250 KPa; 54°C entre 35 – 70 KPa. En la investigación dio como promedios esfuerzos a las temperaturas ensayadas de: -10°C a 219,26 KPa; 5°C a 255,54 KPa; 25°C a 127,69 KPa; 40°C a 29,46 KPa; 50°C 26,61 KPa. Lo que es evidente que en todos los parámetros no cumple ni el mínimo por lo que la mezcla es de materiales deficientes o no tiene el grado de compactación adecuado para cumplir los requisitos en la ciudad de Quito.

Para la mezcla asfáltica en frío de CHOVA – IMPTEK DEL ECUADOR S.A., según información de su mezcla se puede definir como una Mezcla de Graduación Densa, por lo que se la calificara según esas condiciones.

- Se debe tener una estabilidad igual o superior de 500 lb/pulg2 y la investigación dio como resultado un valor de 1 147 lb/pulg2 con lo que sí está cumpliendo lo necesario para poder soportar los esfuerzos de las cargas vehiculares de la ciudad de Quito. No obstante al igual que la mezcla caliente de la EPMMOP se la puede considerar como una mezcla muy rígida.

Ahora para las siguientes cuantificaciones como flujo, porcentaje de vacíos, TSR, M. de Rigidez y M. Dinámico. No hay parámetros los cuales podamos utilizar para calificar la mezcla debido a que son investigaciones que no se han realizado con el fin de tener una clasificación y calificación de las mezclas asfálticas en frio, no obstante se procederá hacer una breve explicación o resumen de los valores obtenidos.

- La mezcla dio como resultado un 29% de vacíos, lo que se puede interpretar como una mezcla altamente absorbente y al tener una característica así sufrirá muchos problemas en cuanto a daño producido por el agua lavando la mezcla y produciendo varias fallas considerables.
- En cuanto al flujo esta mezcla tiene un valor de 14 centésimas de pulgada. Lo que significa que es una mezcla muy plástica con tendencia a deformarse fácilmente por las cargas que actúen en ella, al igual que la mezcla caliente de la EPMMOP.
- Sobre la relación de resistencia a la tensión indirecta o TSR la investigación dio como resultado 45,3% siendo un valor muy bajo. Que al hacer la relación con su porcentaje de vacíos se reafirma que es una mezcla altamente susceptible a problemas con el agua.

- Hablando de su módulo de rigidez esta mezcla da como resultado un valor de 650 MPa que para una mezcla asfáltica se lo considera bajo, ahora como sabemos no hay investigaciones previas sobre este parámetro así que se puede dar varias o posibles interpretaciones.
- En cuanto al módulo dinámico los rangos de esfuerzo a las temperaturas del ensayo, siendo: -10°C entre 1400 – 2800 KPa; 4°C entre 700 – 1400 KPa; 21°C entre 350 – 700 KPa; 37°C entre 140 – 250 KPa; 54°C entre 35 – 70 KPa. En la investigación dio como promedios esfuerzos a las temperaturas ensayadas de: -10°C a 306,17 KPa; 5°C a 203,50 KPa; 25°C a 71,49 KPa; 40°C a 29,68 KPa; 50°C 33,48 KPa. Lo que es evidente que en todos los parámetros no cumple ni el mínimo e incluso son parecidas a la mezcla en caliente de la EPMMOP por lo que la mezcla es de materiales deficientes o no tiene el grado de compactación adecuado para cumplir los requisitos en la ciudad de Quito.

5.2 Recomendaciones

La investigación realizada en este trabajo de disertación, me permitió establecer posibles recomendaciones para las dos mezclas asfálticas estudiadas, las mismas que pueden ser o no tomadas en consideración por los lectores, sin embargo recomiendo tenerlas en cuenta cuando se vaya a realizar trabajos de mantenimiento en las vías del Distrito Metropolitano de Quito. Las recomendaciones a las que llegue son:

Para la mezcla asfáltica en caliente de la EPMMOP (Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Publicas).

- Al ser una mezcla con un comportamiento de curado y apertura al tráfico relativamente rápida, siempre y cuando se realice correctamente la colocación. Es la mejor opción para mantenimientos en vías de 1 y 2 orden.

- Si se trata de reparación de vías o un mantenimiento considerable, es recomendable usar esta mezcla siempre y cuando se realice un proceso adecuado de mantenimiento. En el ámbito de bacheo de las calles se debe realizar una correcta limpieza de la zona afectada con una escoba y un rastrillo, seguido de verificar que la sub rasante este correctamente compactada y nivelada.
- Se debe hacer un riego de liga para garantizar la adherencia de toda la mezcla (estructura del pavimento) caso contrario se puede levantar nuevamente la zona de reparación al cabo de unos días generando de nuevo un bache de igual o mayores proporciones.
- Una vez colocada la mezcla se debe garantizar que está siendo colocada de forma uniforme, evitando que la mezcla nueva quede sobrepuesta del área de reparación ya que esto genera otro tipo de fallas en el pavimento como son Ahuellamiento, etc. Si esto llega a pasar se debe retirar el material sobrante con el rastrillo afinando los límites de la zona a reparar.
- Y se debe dar como mínimo 8 o 9 pasadas con un compactador tipo planchuela y si es posible mejor usar un mini compactador tándem al menos 7 veces. Garantizando un correcto acomodo de las partículas de la mezcla y así evitar que se pueda volver a levantar.
- De todas maneras se puede mejorar la mezcla con aditivos ya que en una visión generalizada es una mezcla que cumple con la mayor parte de parámetros o requisitos para ser utilizada en pavimentación, y sus falencias no son tan incorregibles.

Para la mezcla asfáltica en frío de CHOVA – IMPTEK DEL ECUADOR S.A.

- Hablando de esta mezcla no se la recomienda para usos de reparación o mantenimiento de zonas muy grandes o extensas, ya que por ser una mezcla con condiciones especiales de curado y apertura al tráfico no es posible garantizar que se comporte de una manera aceptable en un corto plazo. Esta recomendación puedo formularla ya que las investigaciones que existen en el medio no están hechas a profundidad por tanto, partiendo de mi investigación en laboratorio pude corroborar lo antes mencionado.
- Pero si es muy aceptable para vías de 3 órdenes o vías de conjuntos residenciales, pequeños parqueaderos, etc. Ya que en estas vías no se tiene un tráfico elevado y se puede cerrar la zona en donde fue aplicada la mezcla.
- De igual forma la mezcla Bitumix, está compuesta por agregados vírgenes o reciclados y esto ocasiona que el tamaño de sus partículas sea considerablemente variable generando problemas al momento de querer obtener una zona homogénea por lo que no se recomienda usar fundas con diferencia de fechas de elaboración muy distantes.
- Otro problema es que su mezcla dura alrededor de 5 meses si no se abre la funda y unos 2 meses si se la abre y no se la utiliza por completo. Esto afecta a la calidad de la mezcla ya que si se usa sacos recién salidos de fábrica su comportamiento es muy bueno pero si son sacos a punto de caducar el comportamiento es pésimo y no sirve para ser utilizada.
- Ahora Chova recomienda realizar un sello de arena encima del bacheo o colocar un mortero asfaltico si se va a ser utilizada en pavimentación para tener un sello mucho mejor y amentar sus capacidades y características estructurales.

7. Referencias Bibliográficas

- ASPHATL INSTITUTE (2001). EMULSIONES ASFALTICAS MS.19. Lexington: Asphatl Institute.
- Coronado (2000). MANUAL CENTRO AMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS [Archivo PDF]. Recuperado de: https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/catalogo-de-danossieca1.pdf
- Gonzáles Morgado Eduardo (2018). METODOLIGÍAS DE REPARACIÓN PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES DE MEDIANO Y BAJO TRÁNSITO [Tesis de Pregrado]. Recuperado de: http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/7090/a123191_Gonzalez_D_Metodologias_de_reparacion_para_pavimentos_2018_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEN (2014). PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETROLEO, CEMENTO ASFALTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD) REQUISITOS [en línea]. Recuperado de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2515-enm.pdf
- Montejo Fonseca Alfonso (2002). INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS. (2da Reimpresión de la 2da Edición). Bogotá: Stella Valbuena de Fierro.
- MTOP (2013). ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES. (Volumen 4). Quito: n/a.
- Padilla Rodríguez Alejandro. (s.f.). CAPITULO 3 MEZCLAS ASFÁLTICAS. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y
- Reyes Lizcano Fredy A. (2003). DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS. (1ª Edición). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- VISE (2016). Conoce los distintos tipos de Pavimentación [en línea]. Recuperado de: https://blog.vise.com.mx/conoce-los-distintos-tipos-de-pavimentacion

Anexos

1 Módulo de Rigidez de Mezclas Asfálticas: BS EN 12697-26

1.1 Mezcla Caliente

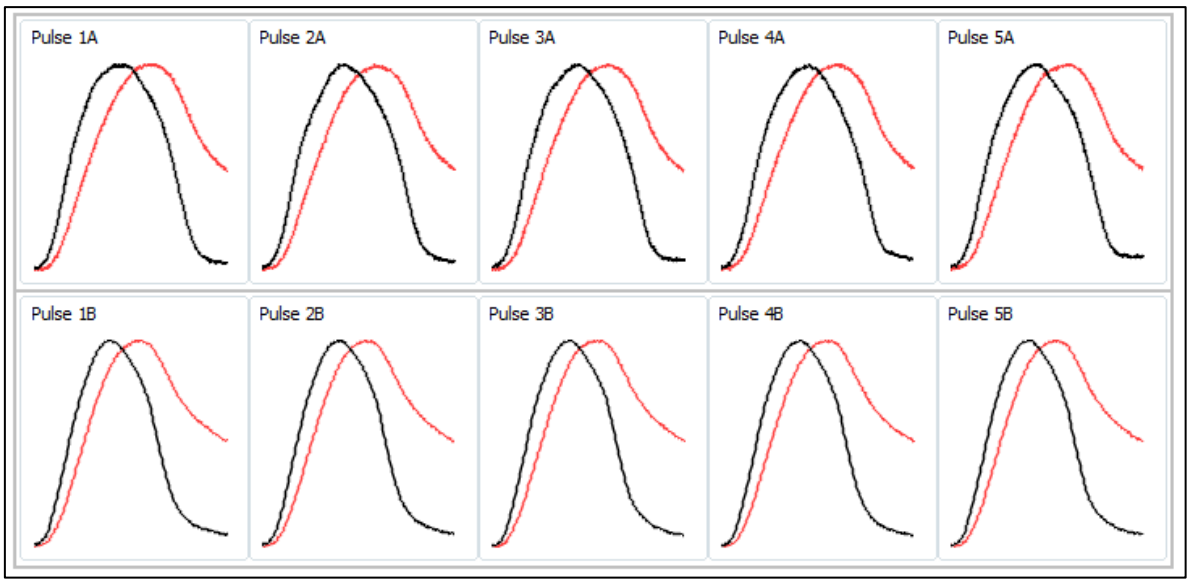
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	70,00	**Deformación (με):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (με)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
1B	129	5,724	45,5	760	758

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,307	0,315	0,313	0,315	0,319	0,314	0,701	0,706	0,703	0,704	0,708	0,705	**0,509**
Horizontal Stress (kPa)	27,4	28,2	28,0	28,2	28,5	28,1	62,7	63,1	62,9	63,0	63,3	63,0	**45,5**
Load-Area Factor	0,69	0,66	0,68	0,68	0,65	0,67	0,53	0,54	0,54	0,57	0,53	0,54	**0,61**
Horizontal Deformation (um)	4,414	4,437	4,347	4,324	4,343	4,373	7,097	7,124	7,053	7,057	7,041	7,074	**5,724**
Load Rise Time (ms)	183	182	185	184	183	184	74	75	74	70	75	74	**129**
Measured Stiffness (MPa)	617	630	639	646	652	637	876	879	884	885	892	883	**760**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	634	642	655	662	662	651	854	860	865	875	869	865	**758**

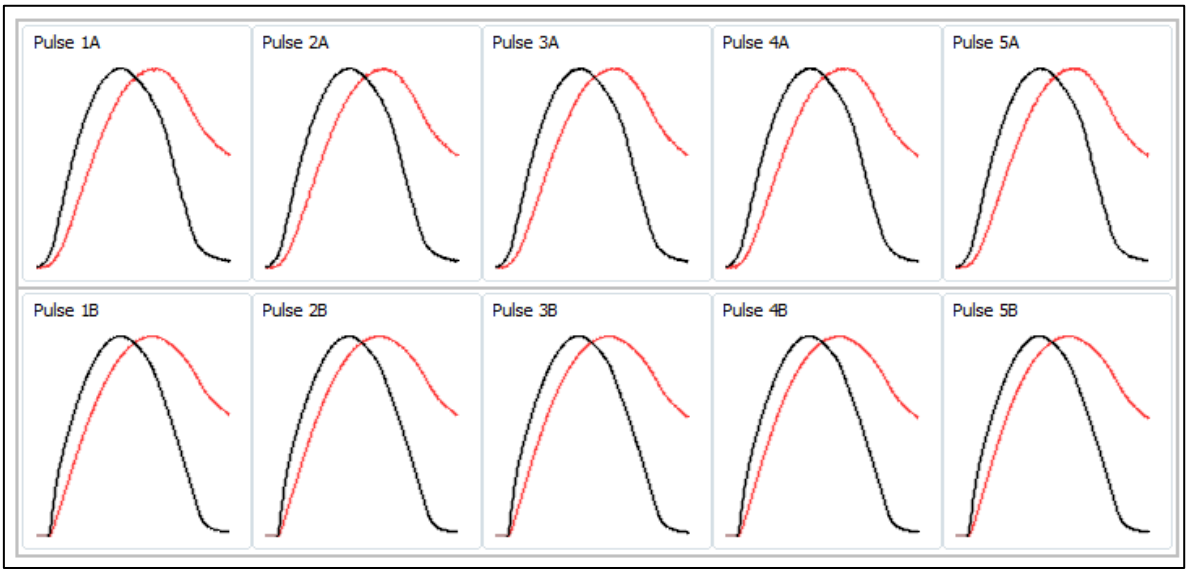
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	69,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
3A	138	21,007	152,4	816	823

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,719	0,717	0,721	0,718	0,720	0,719	2,653	2,663	2,663	2,664	2,665	2,661	**1,690**
Horizontal Stress (kPa)	64,8	64,6	65,0	64,7	64,9	64,8	239,1	240,0	240,0	240,1	240,3	239,9	**152,4**
Load-Area Factor	0,59	0,60	0,57	0,59	0,59	0,59	0,68	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68	**0,63**
Horizontal Deformation (um)	6,772	6,744	6,717	6,674	6,650	6,711	34,843	35,152	35,321	35,537	35,660	35,303	**21,007**
Load Rise Time (ms)	123	122	127	123	124	124	155	152	151	153	153	153	**138**
Measured Stiffness (MPa)	949	951	960	962	968	958	681	677	674	670	668	674	**816**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	945	951	949	958	964	954	699	697	694	687	685	692	**823**

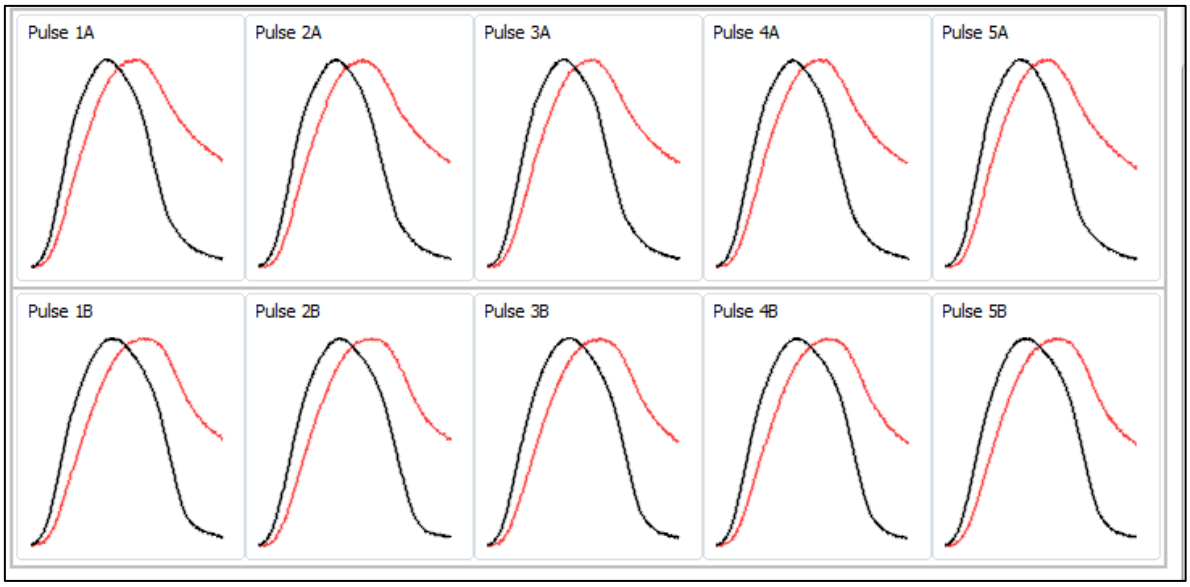
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	69,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
4	100	5,575	61,1	1085	1098

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,692	0,699	0,693	0,704	0,698	0,697	0,649	0,657	0,654	0,651	0,653	0,653	**0,675**
Horizontal Stress (kPa)	62,6	63,2	62,7	63,7	63,1	63,1	58,7	59,4	59,2	58,8	59,1	59,0	**61,1**
Load-Area Factor	0,62	0,61	0,62	0,65	0,63	0,62	0,65	0,61	0,65	0,63	0,64	0,64	**0,63**
Horizontal Deformation (um)	5,879	5,761	5,663	5,643	5,573	5,704	5,530	5,490	5,474	5,376	5,356	5,445	**5,575**
Load Rise Time (ms)	100	103	99	95	100	99	99	102	100	100	99	100	**100**
Measured Stiffness (MPa)	1055	1087	1096	1118	1122	1096	1051	1072	1070	1085	1092	1074	**1085**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1063	1091	1105	1140	1135	1107	1071	1076	1091	1098	1109	1089	**1098**

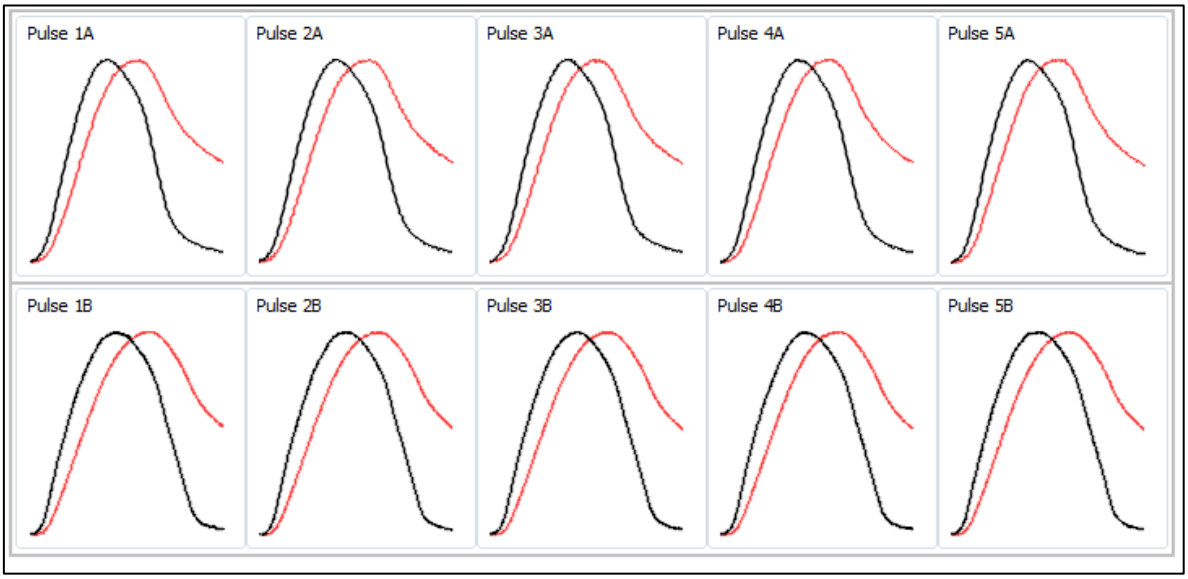
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	69,00	**Deformación (μm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
6C	130	8,414	65,3	830	841

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,632	0,632	0,635	0,638	0,641	0,636	0,813	0,814	0,814	0,816	0,806	0,813	**0,724**
Horizontal Stress (kPa)	57,0	57,0	57,3	57,5	57,8	57,3	73,3	73,4	73,4	73,6	72,8	73,3	**65,3**
Load-Area Factor	0,60	0,58	0,63	0,62	0,62	0,61	0,68	0,68	0,69	0,68	0,68	0,68	**0,64**
Horizontal Deformation (um)	5,721	5,663	5,638	5,667	5,588	5,655	11,326	11,279	11,115	11,103	11,041	11,173	**8,414**
Load Rise Time (ms)	76	79	72	73	73	75	186	187	185	184	188	186	**130**
Measured Stiffness (MPa)	991	1001	1010	1010	1029	1008	644	647	657	659	655	652	**830**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	991	993	1022	1018	1037	1012	660	664	676	676	672	670	**841**

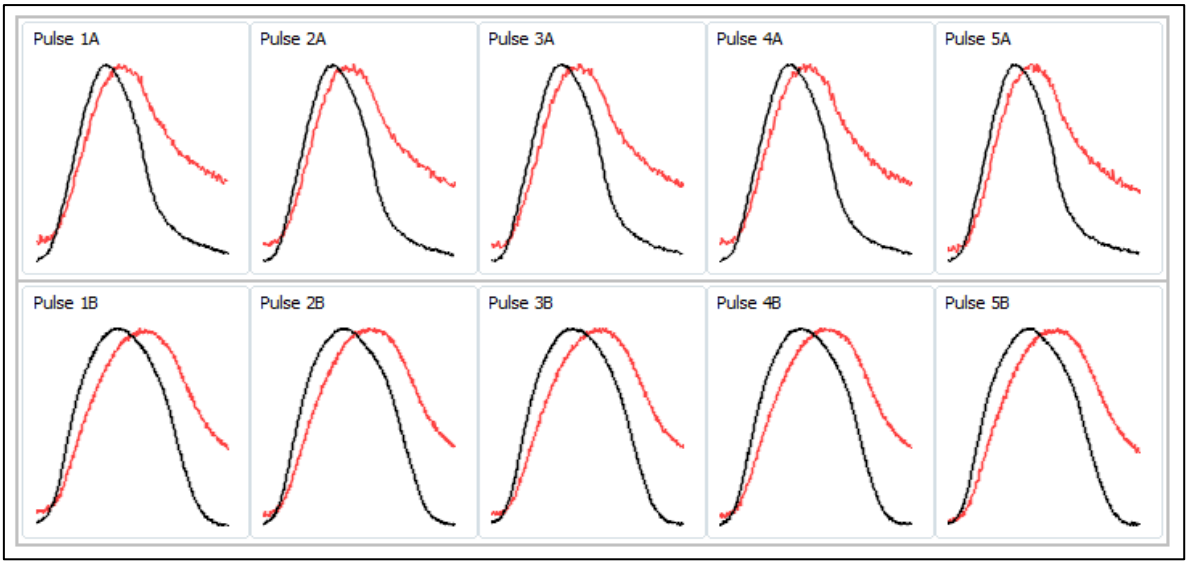
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	101,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	75,00	**Deformación (με):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (με)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
1N	131	2,113	33,7	1649	1642

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,357	0,363	0,363	0,368	0,371	0,364	0,436	0,439	0,439	0,441	0,441	0,439	**0,402**
Horizontal Stress (kPa)	30,0	30,5	30,5	30,9	31,2	30,6	36,6	36,8	36,8	37,0	37,0	36,9	**33,7**
Load-Area Factor	0,57	0,56	0,53	0,54	0,56	0,55	0,70	0,65	0,64	0,64	0,63	0,65	**0,60**
Horizontal Deformation (um)	1,582	1,586	1,563	1,579	1,537	1,570	2,722	2,652	2,675	2,666	2,565	2,656	**2,113**
Load Rise Time (ms)	78	80	84	80	79	80	173	183	186	187	185	183	**131**
Measured Stiffness (MPa)	1872	1898	1926	1933	2002	1926	1329	1373	1361	1372	1426	1372	**1649**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1846	1862	1862	1878	1964	1883	1385	1402	1384	1395	1444	1402	**1642**

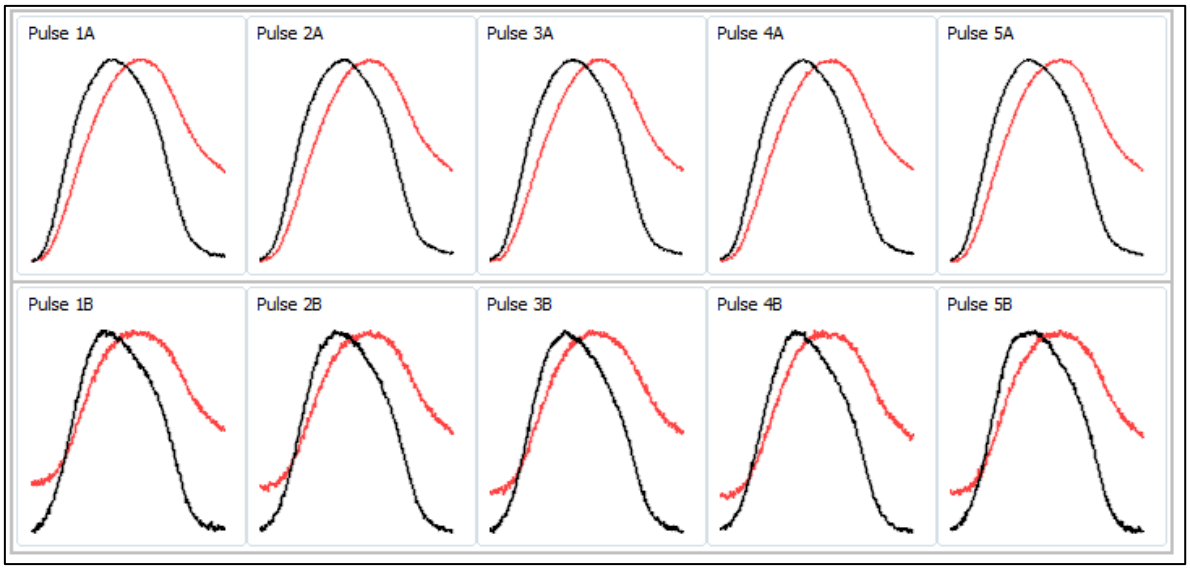
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	71,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
3N	144	3,146	33,9	1022	1031

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,566	0,571	0,564	0,571	0,567	0,568	0,196	0,199	0,201	0,207	0,200	0,201	**0,384**
Horizontal Stress (kPa)	50,0	50,4	49,8	50,4	50,1	50,1	17,3	17,6	17,8	18,3	17,7	17,7	**33,9**
Load-Area Factor	0,57	0,60	0,59	0,62	0,58	0,59	0,67	0,65	0,67	0,66	0,68	0,67	**0,63**
Horizontal Deformation (um)	4,366	4,335	4,298	4,315	4,288	4,320	2,026	2,006	1,952	1,928	1,948	1,972	**3,146**
Load Rise Time (ms)	126	122	126	118	122	123	162	170	167	162	165	165	**144**
Measured Stiffness (MPa)	1137	1155	1151	1160	1159	1152	848	870	903	941	900	893	**1022**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1123	1155	1146	1169	1150	1149	869	886	926	962	926	914	**1031**

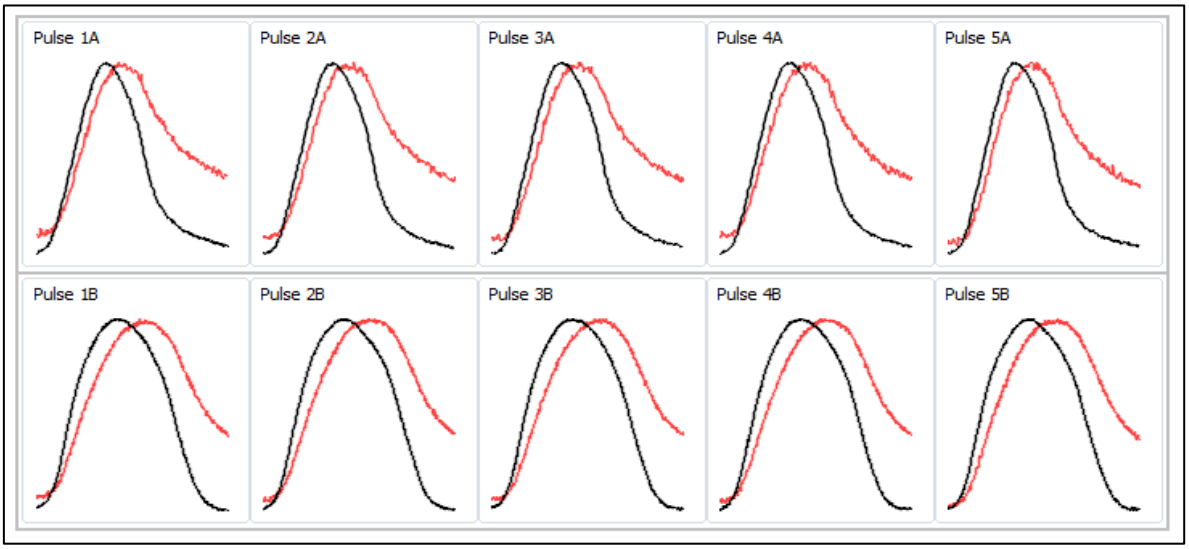
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	65,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
4N	184	19,171	159,4	782	770

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	3,284	3,274	3,287	3,302	3,295	3,288	0,051	0,051	0,057	0,053	0,057	0,054	**1,671**
Horizontal Stress (kPa)	313,3	312,3	313,6	315,1	314,4	313,7	4,8	4,8	5,5	5,1	5,5	5,1	**159,4**
Load-Area Factor	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,61	0,52	0,42	0,47	0,53	0,50	0,49	**0,55**
Horizontal Deformation (um)	36,443	37,043	37,734	38,273	38,642	37,627	0,959	0,717	0,662	0,627	0,611	0,715	**19,171**
Load Rise Time (ms)	184	184	183	183	183	183	158	209	172	181	201	184	**184**
Measured Stiffness (MPa)	854	837	825	817	808	828	504	674	816	801	884	736	**782**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	857	840	828	820	814	832	493	635	779	781	852	708	**770**

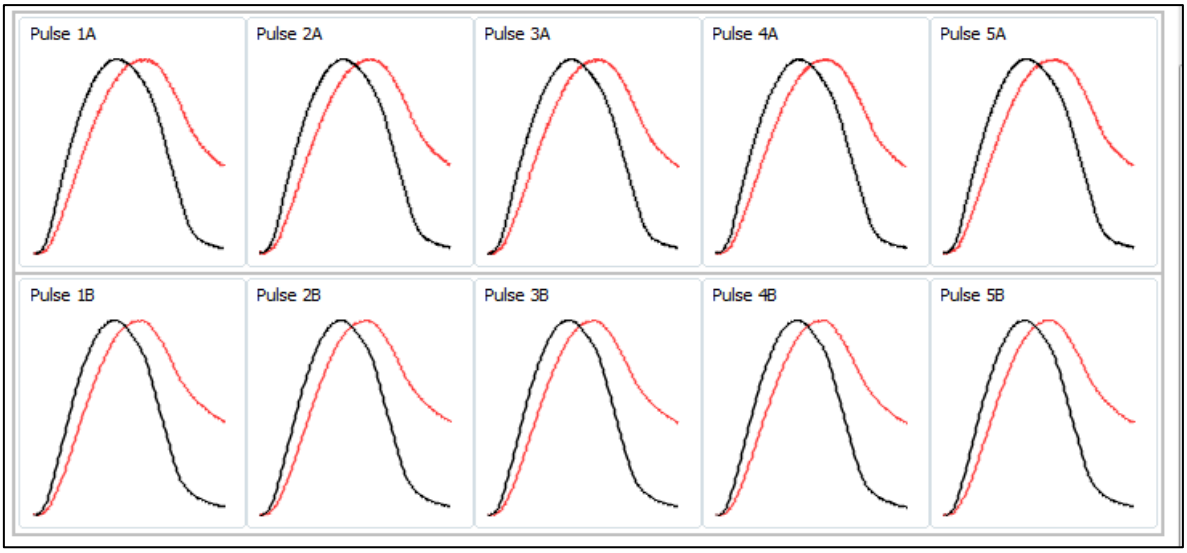
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	102,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	74,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
6N	100	7,910	118,2	1470	1492

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,783	0,789	0,791	0,795	0,791	0,790	1,988	1,995	1,999	2,005	2,010	1,999	**1,395**
Horizontal Stress (kPa)	66,4	66,9	67,0	67,4	67,0	66,9	168,5	169,1	169,4	169,9	170,4	169,5	**118,2**
Load-Area Factor	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,67	0,62	0,60	0,59	0,62	0,60	0,61	**0,64**
Horizontal Deformation (um)	4,637	4,613	4,570	4,553	4,530	4,581	11,202	11,223	11,249	11,251	11,273	11,240	**7,910**
Load Rise Time (ms)	127	126	127	129	128	127	71	74	75	71	74	73	**100**
Measured Stiffness (MPa)	1417	1435	1452	1465	1465	1447	1489	1492	1491	1495	1496	1493	**1470**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	1466	1478	1496	1503	1497	1488	1502	1492	1485	1508	1496	1497	**1492**

1.2 Mezcla Fría

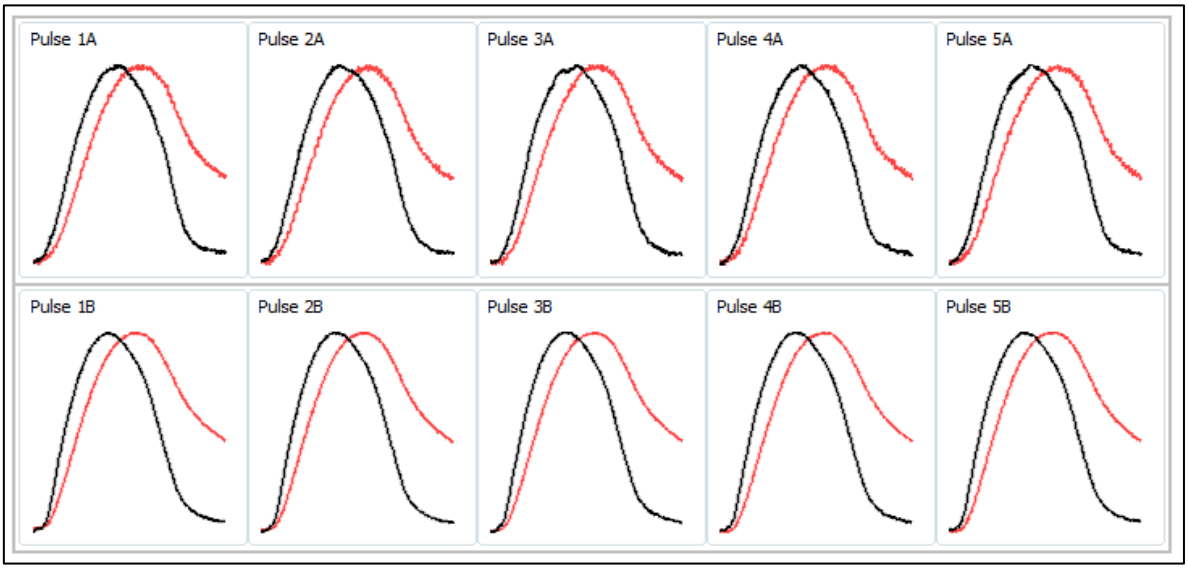
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	100,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	60,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
2N	180	6,114	41,4	688	705

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,271	0,271	0,271	0,273	0,272	0,272	0,506	0,506	0,502	0,507	0,512	0,507	**0,389**
Horizontal Stress (kPa)	28,9	28,9	28,9	29,1	29,0	28,9	53,9	53,9	53,5	54,0	54,5	54,0	**41,4**
Load-Area Factor	0,71	0,75	0,78	0,75	0,74	0,75	0,56	0,59	0,61	0,60	0,58	0,59	**0,67**
Horizontal Deformation (um)	3,839	3,782	3,743	3,735	3,699	3,760	8,445	8,481	8,460	8,464	8,488	8,468	**6,114**
Load Rise Time (ms)	204	191	186	191	200	194	174	163	162	164	170	166	**180**
Measured Stiffness (MPa)	735	746	754	761	766	753	624	621	618	624	628	623	**688**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	762	784	800	800	803	790	616	619	620	624	624	621	**705**

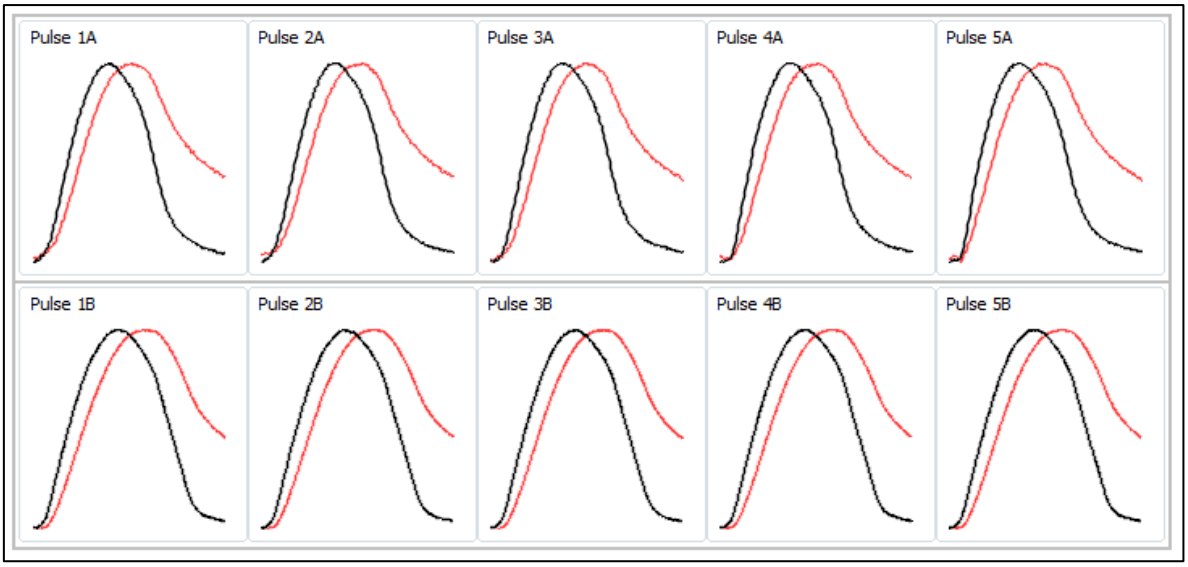
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	100,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	60,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
3N	127	13,673	70,2	535	529

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	Mean A&B
Load Peak to Peak (kN)	0,528	0,527	0,525	0,523	0,523	0,525	0,789	0,792	0,791	0,793	0,790	0,791	**0,658**
Horizontal Stress (kPa)	56,4	56,3	56,1	55,8	55,8	56,0	84,2	84,5	84,4	84,6	84,3	84,4	**70,2**
Load-Area Factor	0,51	0,51	0,52	0,54	0,60	0,54	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	**0,57**
Horizontal Deformation (um)	8,786	8,835	8,621	8,514	8,479	8,647	18,697	18,717	18,620	18,756	18,701	18,698	**13,673**
Load Rise Time (ms)	74	74	71	65	58	68	190	187	185	185	186	187	**127**
Measured Stiffness (MPa)	624	619	632	638	640	631	438	439	441	439	439	439	**535**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	606	602	616	626	640	618	438	439	442	440	440	440	**529**

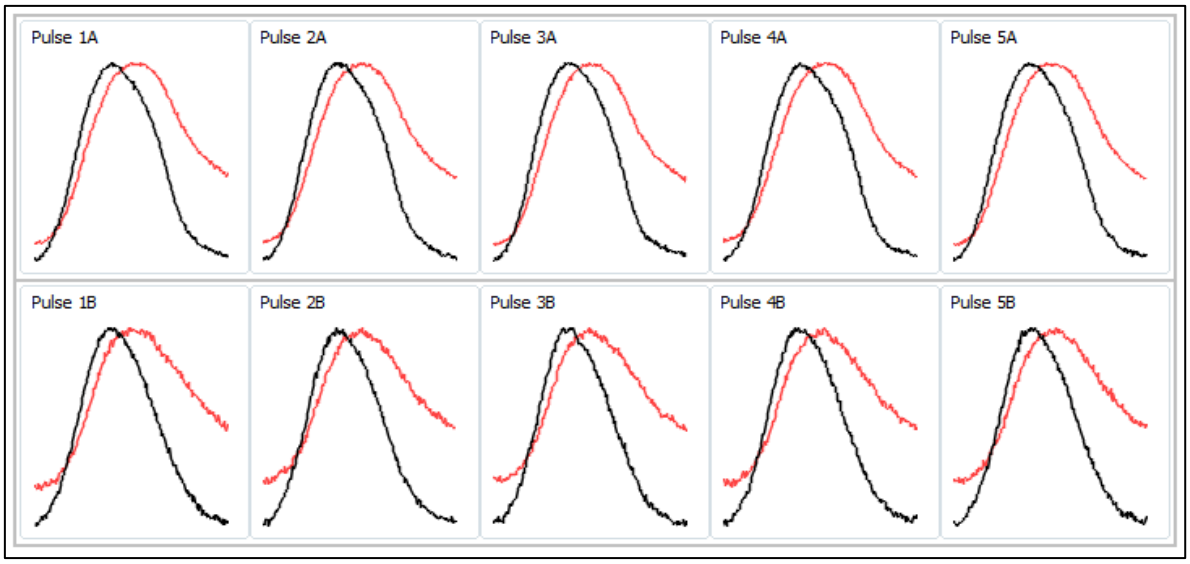
Información previa al ensayo:

Temperatura (°C):	25	**Pulsos de acondicionamiento:**	10
D. bulk (Kg/m3):	0	**Coeficiente de Poisson:**	0,35
Diámetro (mm):	100,00	**Tiempo de carga (ms):**	124
Espesor (mm):	56,00	**Deformación (µm):**	5

Media de los dos ensayos por briqueta o núcleo

Muestra N.-	Tiempo de carga (ms)	Deformación Horizontal (µm)	Tensión Horizontal (kPa)	Módulo Rigidez Medido (MPa)	Módulo Rigidez Ajustado (MPa)
4N	82	2,730	19,2	683	715

Registro De La Máquina Universal



Test Results

	1A	2A	3A	4A	5A	Mean A	1B	2B	3B	4B	5B	Mean B	**Mean A&B**
Load Peak to Peak (kN)	0,212	0,213	0,211	0,215	0,214	0,213	0,123	0,124	0,125	0,123	0,123	0,124	**0,168**
Horizontal Stress (kPa)	24,2	24,3	24,1	24,5	24,4	24,3	14,0	14,2	14,3	14,0	14,0	14,1	**19,2**
Load-Area Factor	0,69	0,68	0,69	0,69	0,68	0,69	0,80	0,83	0,78	0,83	0,75	0,80	**0,74**
Horizontal Deformation (um)	3,435	3,474	3,426	3,434	3,354	3,424	1,998	2,085	2,087	2,014	1,990	2,035	**2,730**
Load Rise Time (ms)	81	84	83	82	84	83	83	72	81	75	88	80	**82**
Measured Stiffness (MPa)	686	681	684	696	709	691	684	661	665	678	687	675	**683**
Adjusted Stiffness Modulus (MPa)	706	699	704	717	728	711	729	710	704	729	721	718	**715**

2 Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas: AASHTO TP 62

2.1 Mezcla Caliente

2.1.1 Temperatura -10 °C

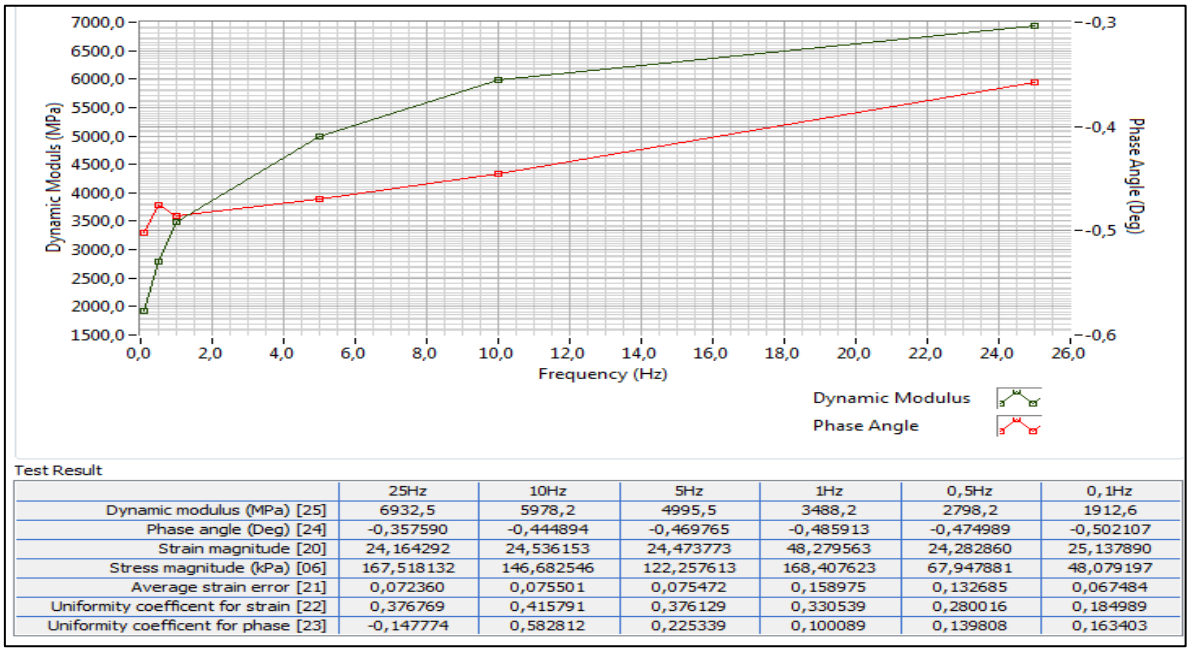
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	6932,50	-10
10	5978,20	-10
5	4995,50	-10
1	3488,20	-10
0,5	2798,20	-10
0,1	1912,60	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	6932,5	5978,2	4995,5	3488,2	2798,2	1912,6
Phase angle (Deg) [24]	-0,357590	-0,444894	-0,469765	-0,485913	-0,474989	-0,502107
Strain magnitude [20]	24,164292	24,536153	24,473773	48,279563	24,282860	25,137890
Stress magnitude (kPa) [06]	167,518132	146,682546	122,257613	168,407623	67,947881	48,079197
Average strain error [21]	0,072360	0,075501	0,075472	0,158975	0,132685	0,067484
Uniformity coefficent for strain [22]	0,376769	0,415791	0,376129	0,330539	0,280016	0,184989
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,147774	0,582812	0,225339	0,100089	0,139808	0,163403

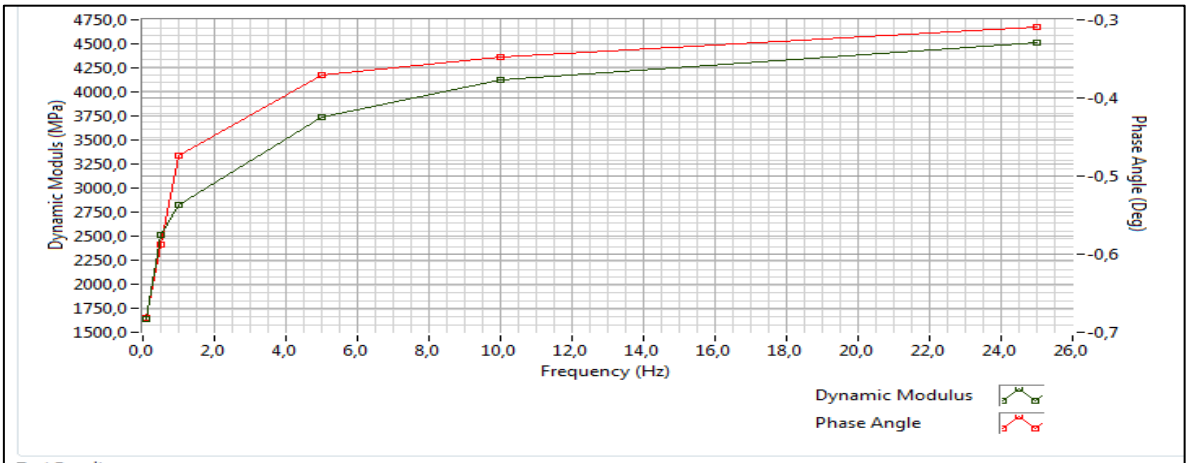
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,50	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,60	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	4514,00	-10
10	4121,20	-10
5	3737,40	-10
1	2820,70	-10
0,5	2510,80	-10
0,1	1632,20	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	4514,0	4121,2	3737,4	2820,7	2510,8	1632,2
Phase angle (Deg) [24]	-0,308926	-0,347988	-0,371409	-0,473434	-0,587925	-0,681129
Strain magnitude [20]	24,101165	24,275804	24,016841	48,954261	72,723311	68,127786
Stress magnitude (kPa) [06]	108,792664	100,046484	89,760944	138,086101	182,595943	111,195166
Average strain error [21]	0,063173	0,073696	0,076996	0,248063	0,750004	2,726124
Uniformity coefficent for strain [22]	0,239362	0,261204	0,262945	0,286330	0,282954	0,272263
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,066346	0,090689	0,049476	0,053808	0,071958	0,076896

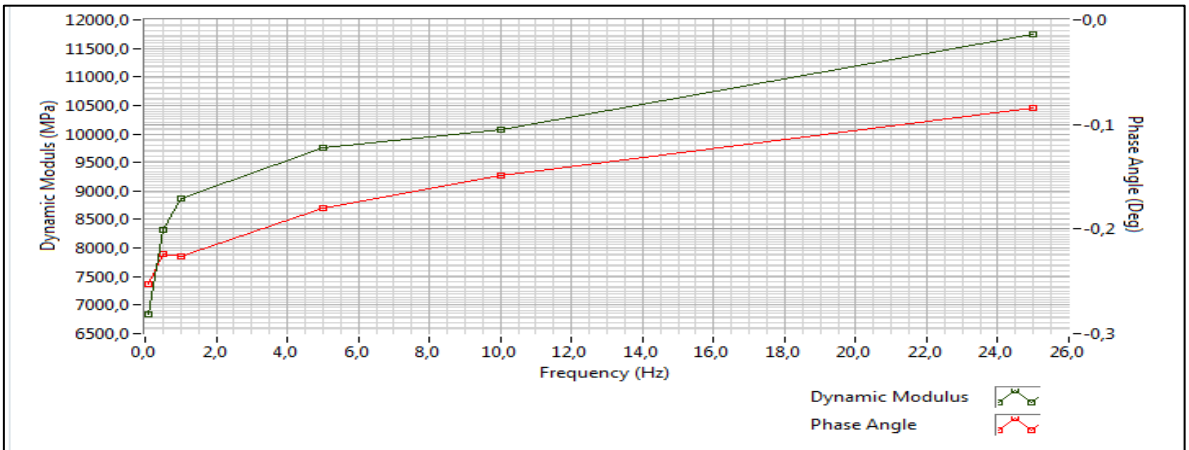
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,70	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	11755,80	-10
10	10081,80	-10
5	9763,70	-10
1	8877,00	-10
0,5	8313,20	-10
0,1	6838,50	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	11755,8	10081,8	9763,7	8877,0	8313,2	6838,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,083826	-0,148372	-0,179581	-0,226052	-0,224323	-0,252995
Strain magnitude [20]	46,332548	48,267733	48,654728	51,346142	52,590739	56,450274
Stress magnitude (kPa) [06]	544,675808	486,623768	475,051567	455,798818	437,196829	386,032815
Average strain error [21]	0,044446	0,051757	0,066032	0,057447	0,049762	0,052576
Uniformity coefficent for strain [22]	0,176335	0,163875	0,142263	0,115225	0,088149	0,080943
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,173619	0,024511	0,011939	0,022532	0,009007	0,003318

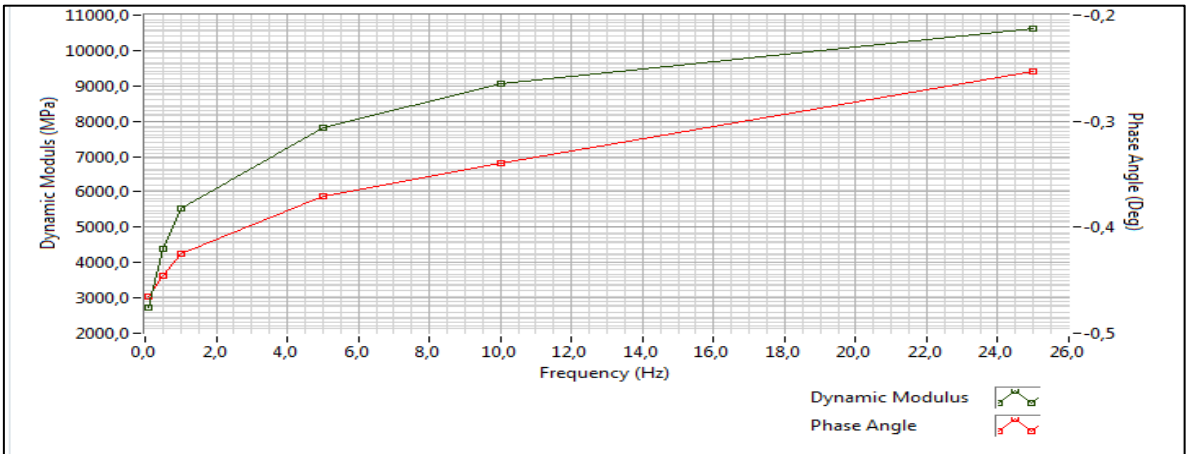
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	140,10	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	10618,80	-10
10	9065,70	-10
5	7817,50	-10
1	5518,90	-10
0,5	4393,50	-10
0,1	2721,60	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	10618,8	9065,7	7817,5	5518,9	4393,5	2721,6
Phase angle (Deg) [24]	-0,253040	-0,339154	-0,370336	-0,424938	-0,445833	-0,465044
Strain magnitude [20]	22,921547	23,882423	24,100408	46,624693	23,663200	24,103733
Stress magnitude (kPa) [06]	243,398876	216,511531	188,404311	257,318612	103,963439	65,601034
Average strain error [21]	0,073887	0,065908	0,068412	0,107683	0,075523	0,067033
Uniformity coefficent for strain [22]	0,113916	0,135364	0,134102	0,143859	0,091859	0,030288
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,211604	0,147462	0,101848	0,050485	0,062062	0,049049

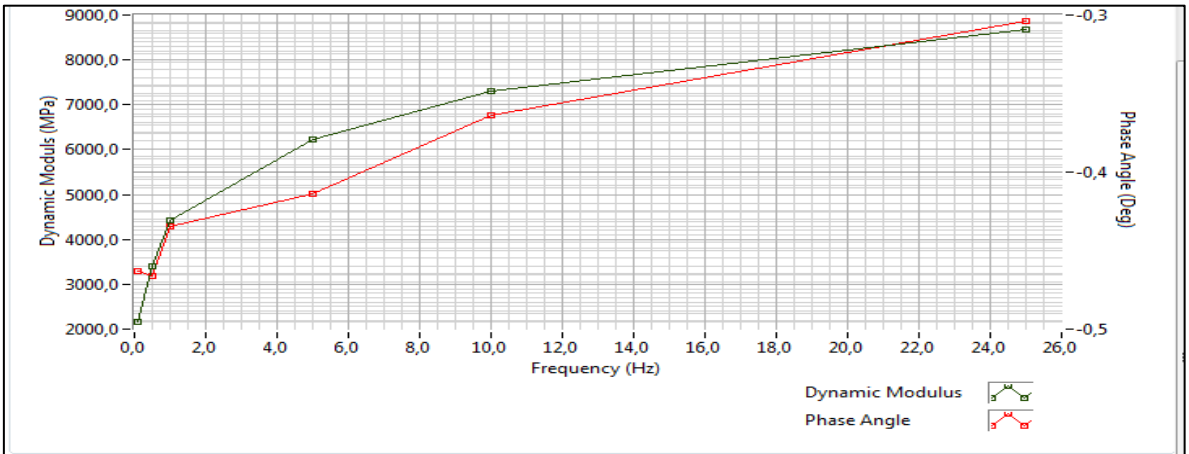
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	136,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	8669,70	-10
10	7296,10	-10
5	6227,60	-10
1	4421,80	-10
0,5	3411,40	-10
0,1	2166,70	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	8669,7	7296,1	6227,6	4421,8	3411,4	2166,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,304023	-0,363790	-0,413922	-0,434277	-0,465849	-0,463458
Strain magnitude [20]	23,334829	24,315623	23,907628	47,370236	26,923771	24,751304
Stress magnitude (kPa) [06]	202,306142	177,409310	148,886344	209,462404	91,846934	53,628348
Average strain error [21]	0,066876	0,066667	0,068145	0,078548	0,273968	0,066969
Uniformity coefficent for strain [22]	0,155251	0,178388	0,182580	0,156136	0,113757	0,063443
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,242375	0,174767	0,099566	0,041724	0,073773	0,055407

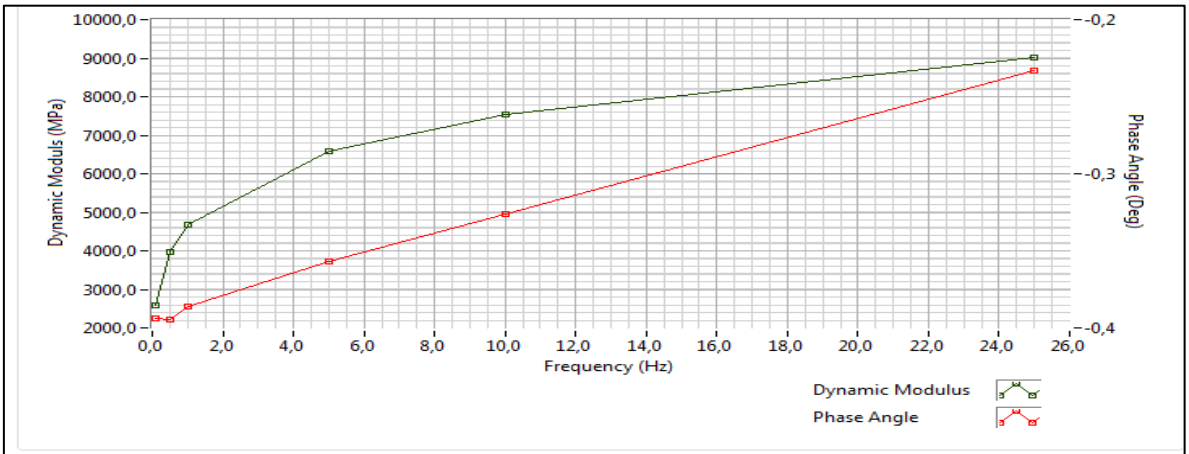
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,20	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	9030,30	-10
10	7538,30	-10
5	6585,70	-10
1	4663,00	-10
0,5	3965,50	-10
0,1	2569,70	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	9030,3	7538,3	6585,7	4663,0	3965,5	2569,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,233389	-0,326298	-0,357211	-0,385878	-0,394741	-0,393605
Strain magnitude [20]	45,687861	48,589774	48,728880	52,087126	53,500743	55,710178
Stress magnitude (kPa) [06]	412,573093	366,284461	320,911487	242,883518	212,155575	143,160149
Average strain error [21]	0,066465	0,061277	0,045199	0,043685	0,055127	0,047808
Uniformity coefficent for strain [22]	0,231640	0,209013	0,197028	0,142614	0,127811	0,127461
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,158917	0,150340	0,083064	0,056057	0,043116	0,018181

2.1.2 Temperatura 5 °C

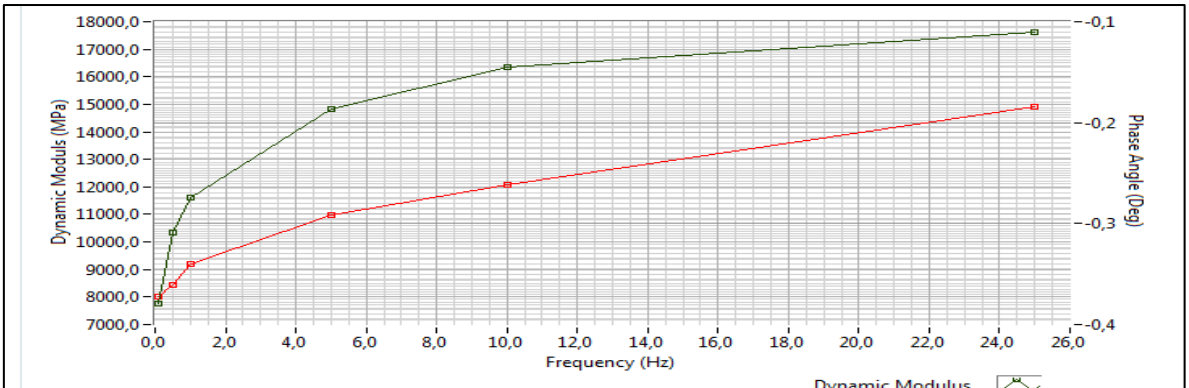
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	17613,40	5
10	16337,00	5
5	14817,80	5
1	11630,70	5
0,5	10333,30	5
0,1	7766,80	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	17613,4	16337,0	14817,8	11630,7	10333,3	7766,8
Phase angle (Deg) [24]	-0,184692	-0,261548	-0,291202	-0,340277	-0,361212	-0,372564
Strain magnitude [20]	23,110592	24,539865	24,891266	27,163103	27,002627	27,883549
Stress magnitude (kPa) [06]	407,057079	400,907316	368,833185	315,926261	279,026016	216,564571
Average strain error [21]	0,077047	0,076909	0,064465	0,055165	0,057562	0,079538
Uniformity coefficent for strain [22]	0,447656	0,429677	0,392527	0,377565	0,377906	0,345628
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,241469	0,185011	0,102628	0,072189	0,070207	0,077094

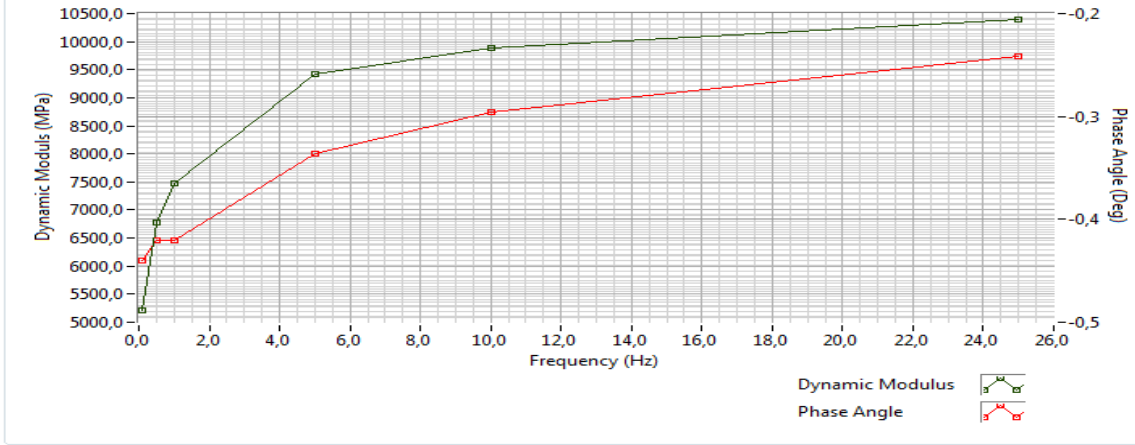
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,50	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,60	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	10403,80	5
10	9883,10	5
5	9413,50	5
1	7468,80	5
0,5	6780,70	5
0,1	5205,20	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	10403,8	9883,1	9413,5	7468,8	6780,7	5205,2
Phase angle (Deg) [24]	-0,241950	-0,296267	-0,336239	-0,420042	-0,420678	-0,440090
Strain magnitude [20]	26,370129	24,087417	23,981782	26,054156	25,670652	26,194385
Stress magnitude (kPa) [06]	274,348894	238,057221	225,751434	194,592377	174,065855	136,347703
Average strain error [21]	0,079245	0,072906	0,075662	0,076486	0,066177	0,078442
Uniformity coefficent for strain [22]	0,035949	0,055219	0,099438	0,116216	0,192874	0,196402
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,213902	0,163125	0,101877	0,079274	0,095045	0,102844

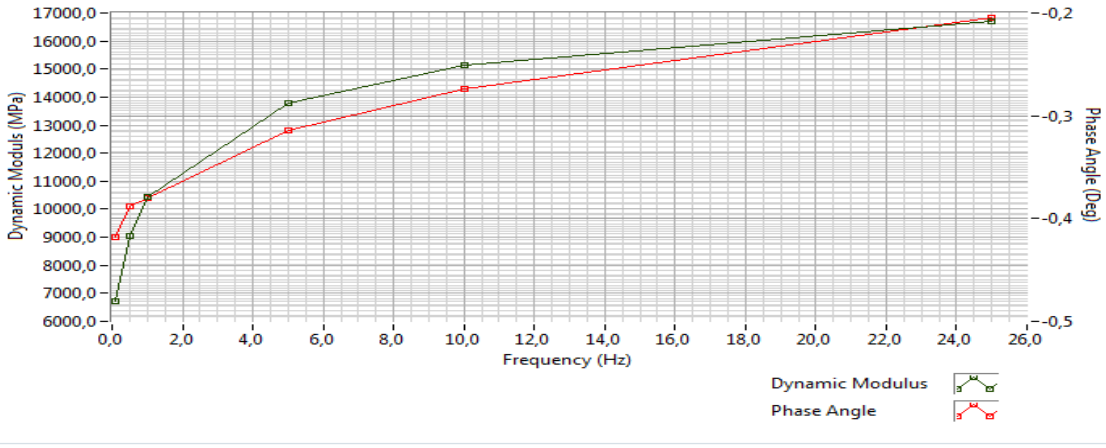
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,70	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	16724,70	5
10	15150,00	5
5	13791,50	5
1	10449,00	5
0,5	9066,70	5
0,1	6733,90	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	16724,7	15150,0	13791,5	10449,0	9066,7	6733,9
Phase angle (Deg) [24]	-0,204285	-0,273400	-0,314091	-0,380496	-0,388252	-0,418506
Strain magnitude [20]	22,931998	24,368233	24,547499	27,075594	27,326445	27,190576
Stress magnitude (kPa) [06]	383,531093	369,179420	338,547102	282,912078	247,760178	183,098269
Average strain error [21]	0,089713	0,079750	0,074747	0,060467	0,069517	0,054435
Uniformity coefficent for strain [22]	0,622455	0,553641	0,518854	0,455199	0,409081	0,285966
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,020521	0,015749	0,012953	0,019846	0,020532	0,055610

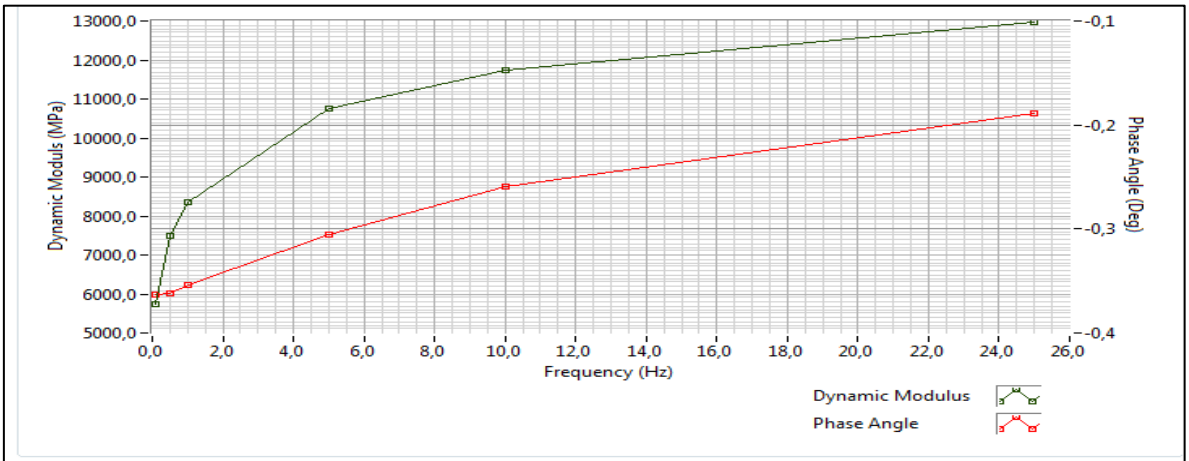
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	140,10	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	12983,70	5
10	11741,30	5
5	10748,30	5
1	8368,90	5
0,5	7507,50	5
0,1	5734,50	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	12983,7	11741,3	10748,3	8368,9	7507,5	5734,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,189204	-0,259081	-0,305053	-0,354370	-0,361742	-0,362695
Strain magnitude [20]	23,346489	24,487129	24,376871	26,556544	26,273461	26,849360
Stress magnitude (kPa) [06]	303,124972	287,511704	262,010754	222,248771	197,247925	153,967003
Average strain error [21]	0,083851	0,073332	0,069227	0,062144	0,067032	0,089615
Uniformity coefficent for strain [22]	0,404514	0,455926	0,474916	0,480238	0,502082	0,462762
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,084457	0,019874	0,039462	0,024476	0,027642	0,000768

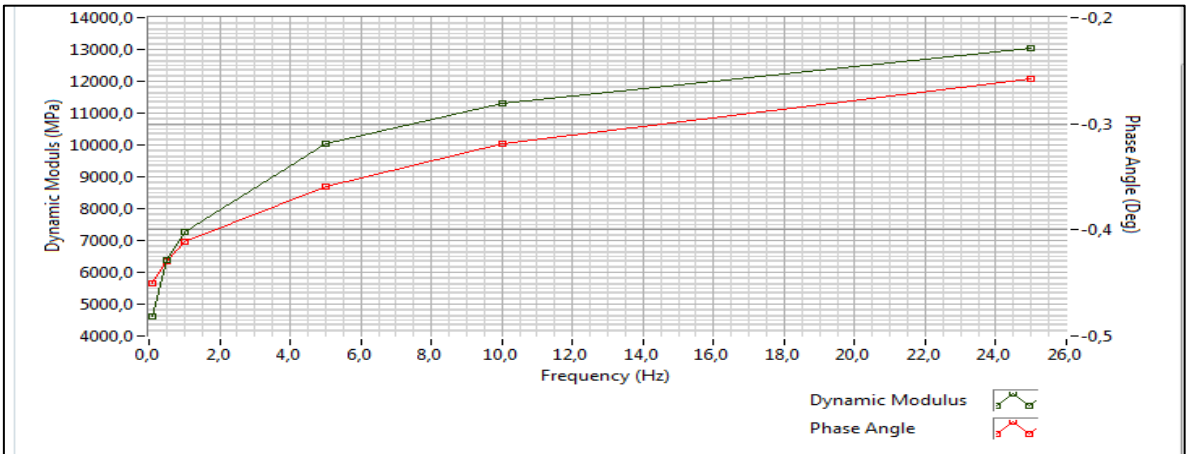
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	136,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	13055,20	5
10	11311,80	5
5	10043,60	5
1	7251,30	5
0,5	6382,20	5
0,1	4610,10	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	13055,2	11311,8	10043,6	7251,3	6382,2	4610,1
Phase angle (Deg) [24]	-0,258021	-0,318294	-0,358849	-0,410660	-0,429304	-0,450854
Strain magnitude [20]	23,260750	24,626154	24,608885	26,163870	26,423798	25,433883
Stress magnitude (kPa) [06]	303,673239	278,565762	247,160861	189,721315	168,640970	117,252017
Average strain error [21]	0,095023	0,089886	0,067889	0,134072	0,062896	0,104089
Uniformity coefficent for strain [22]	0,419917	0,436073	0,436008	0,439651	0,281358	0,159281
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,179702	0,064882	0,038913	0,074916	0,010410	0,011430

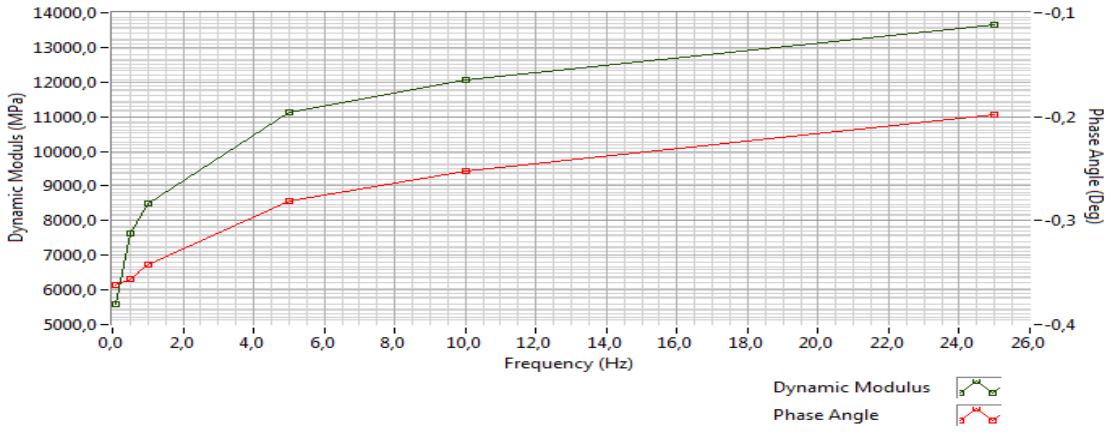
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,20	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	13660,60	5
10	12074,90	5
5	11125,10	5
1	8511,80	5
0,5	7633,80	5
0,1	5597,40	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	13660,6	12074,9	11125,1	8511,8	7633,8	5597,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,198608	-0,251835	-0,281700	-0,342127	-0,356350	-0,362425
Strain magnitude [20]	22,999030	24,151764	24,013058	25,656461	25,584181	25,964423
Stress magnitude (kPa) [06]	314,181532	291,631209	267,147608	218,383124	195,305641	145,334075
Average strain error [21]	0,082251	0,074474	0,068263	0,061233	0,065369	0,065336
Uniformity coefficent for strain [22]	0,383212	0,392493	0,386072	0,392454	0,393265	0,372221
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,010827	0,030978	0,015361	0,008890	0,004086	0,001756

2.1.3 Temperatura 25 °C

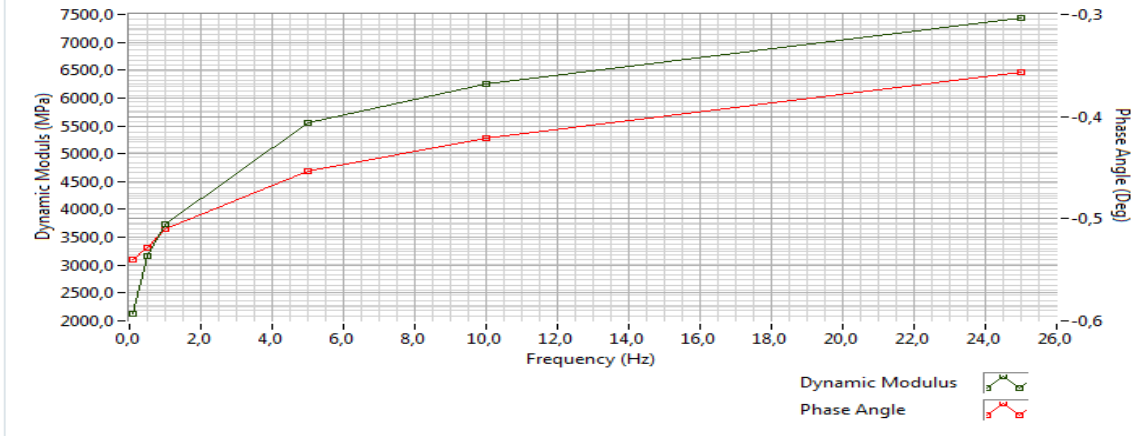
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	7433,40	25
10	6256,60	25
5	5554,90	25
1	3731,40	25
0,5	3157,60	25
0,1	2135,80	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	7433,4	6256,6	5554,9	3731,4	3157,6	2135,8
Phase angle (Deg) [24]	-0,356656	-0,420795	-0,453507	-0,510366	-0,528632	-0,539539
Strain magnitude [20]	23,765662	24,645527	24,806512	24,780029	24,576044	25,593861
Stress magnitude (kPa) [06]	176,659884	154,196397	137,798385	92,464951	77,600869	54,664197
Average strain error [21]	0,076055	0,074806	0,085793	0,094176	0,084962	0,085894
Uniformity coefficent for strain [22]	0,578990	0,512574	0,468439	0,407974	0,400041	0,357885
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,042510	0,137918	0,070127	0,056155	0,050888	0,048500

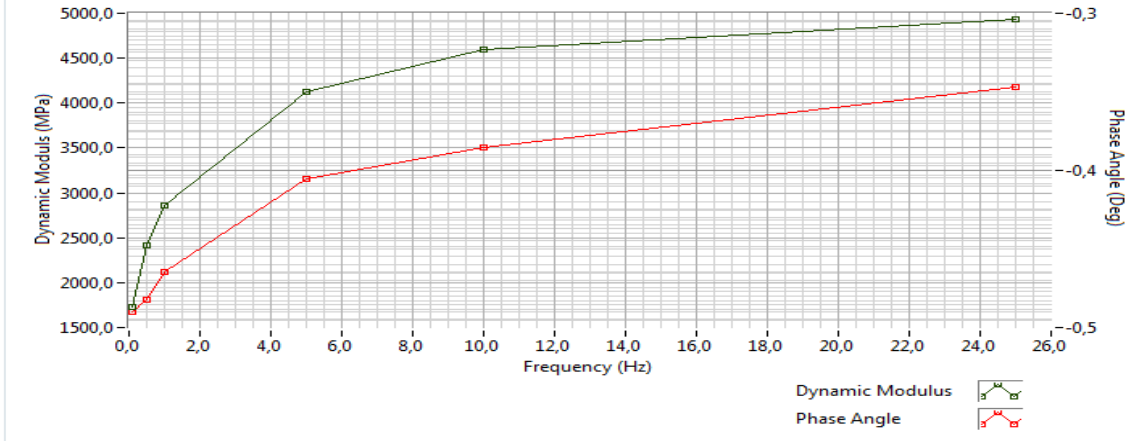
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,50	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,60	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	4926,00	25
10	4601,10	25
5	4131,70	25
1	2858,20	25
0,5	2419,90	25
0,1	1727,60	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	4926,0	4601,1	4131,7	2858,2	2419,9	1727,6
Phase angle (Deg) [24]	-0,347105	-0,385380	-0,405685	-0,464322	-0,482053	-0,490170
Strain magnitude [20]	23,911910	24,728468	24,600016	24,473518	24,083402	24,614389
Stress magnitude (kPa) [06]	117,789550	113,778247	101,639773	69,949944	58,279407	42,524848
Average strain error [21]	0,067096	0,073656	0,084765	0,078012	0,116585	0,114781
Uniformity coefficent for strain [22]	0,052072	0,054406	0,061817	0,065820	0,075185	0,087600
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,040998	0,029126	0,022446	0,046659	0,037088	0,025216

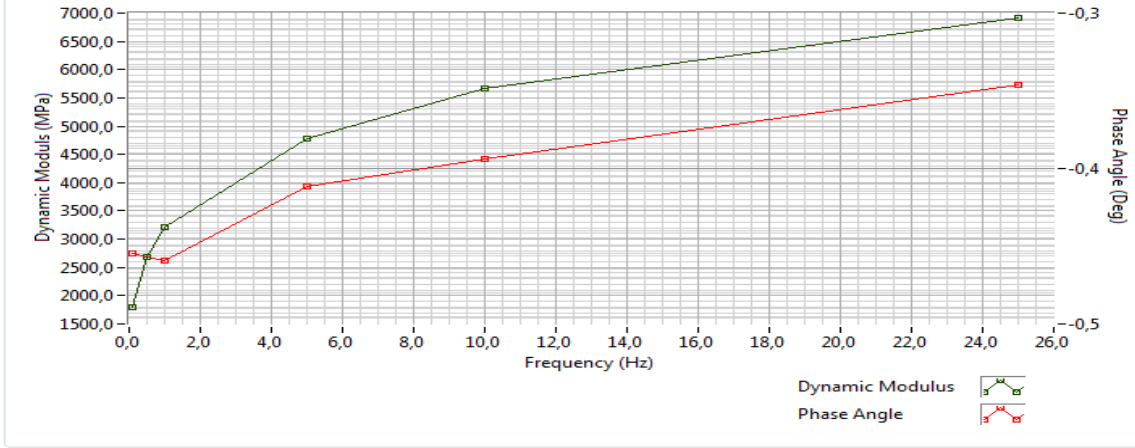
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,70	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	6921,80	25
10	5674,80	25
5	4785,10	25
1	3211,40	25
0,5	2678,70	25
0,1	1795,90	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	6921,8	5674,8	4785,1	3211,4	2678,7	1795,9
Phase angle (Deg) [24]	-0,345990	-0,393917	-0,411597	-0,459015	-0,457040	-0,454854
Strain magnitude [20]	23,721418	24,600667	24,449298	24,663997	23,944116	23,671502
Stress magnitude (kPa) [06]	164,194383	139,604883	116,993405	79,205385	64,138769	42,510710
Average strain error [21]	0,065664	0,071510	0,070953	0,081390	0,087490	0,076385
Uniformity coefficent for strain [22]	0,214397	0,160913	0,122975	0,095131	0,024658	0,003804
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,015507	0,024759	0,026917	0,013516	0,023684	0,013823

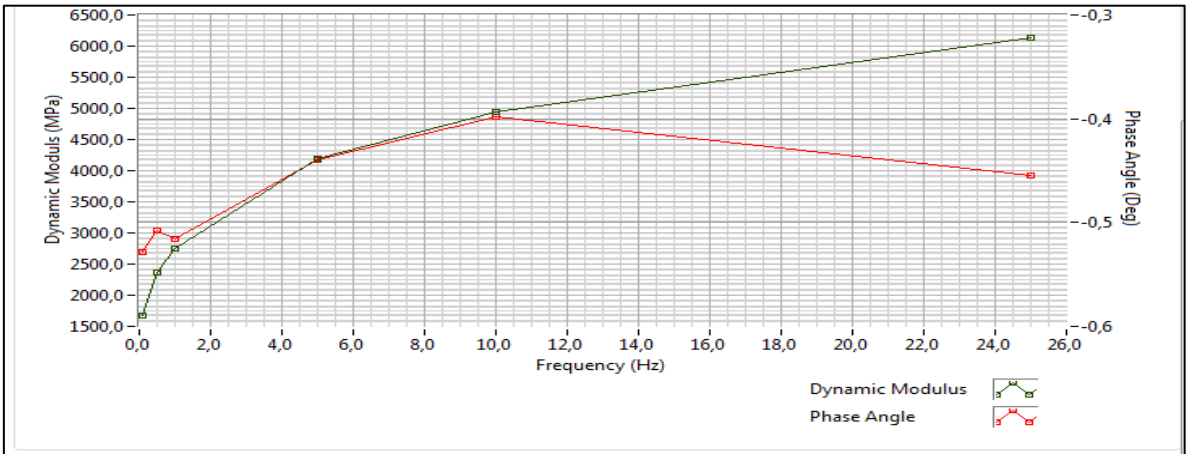
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	140,10	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	6140,10	25
10	4933,00	25
5	4190,70	25
1	2743,80	25
0,5	2370,90	25
0,1	1676,70	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	6140,1	4933,0	4190,7	2743,8	2370,9	1676,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,455108	-0,398473	-0,440118	-0,515923	-0,507300	-0,528334
Strain magnitude [20]	112,560411	24,800732	24,566372	24,995727	24,687836	22,829400
Stress magnitude (kPa) [06]	691,130315	122,343236	102,949789	68,583898	58,531753	38,278479
Average strain error [21]	0,703721	0,070278	0,068612	0,056664	0,068755	0,160600
Uniformity coefficent for strain [22]	0,397367	0,498491	0,454558	0,422037	0,501249	0,428796
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,191130	0,040697	0,038326	0,013844	0,005512	0,021678

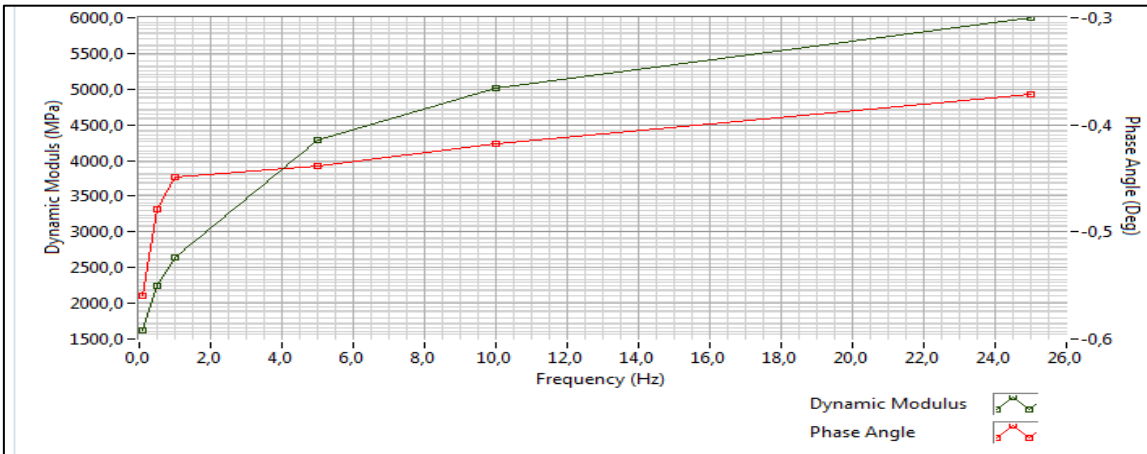
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	136,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	5995,30	25
10	5020,70	25
5	4292,20	25
1	2646,30	25
0,5	2246,40	25
0,1	1613,40	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	5995,5	5020,7	4292,2	2646,3	2246,4	1613,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,371329	-0,417187	-0,438696	-0,448522	-0,478564	-0,559572
Strain magnitude [20]	24,258987	24,950999	24,650106	25,267922	24,301368	24,374756
Stress magnitude (kPa) [06]	145,444577	125,271004	105,803692	66,865297	54,591544	39,327226
Average strain error [21]	0,068615	0,088563	0,083651	0,057457	0,075527	1,253126
Uniformity coefficent for strain [22]	0,351642	0,342178	0,343997	0,260137	0,262668	0,313459
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,101133	0,192005	0,082432	0,044554	0,069982	0,135500

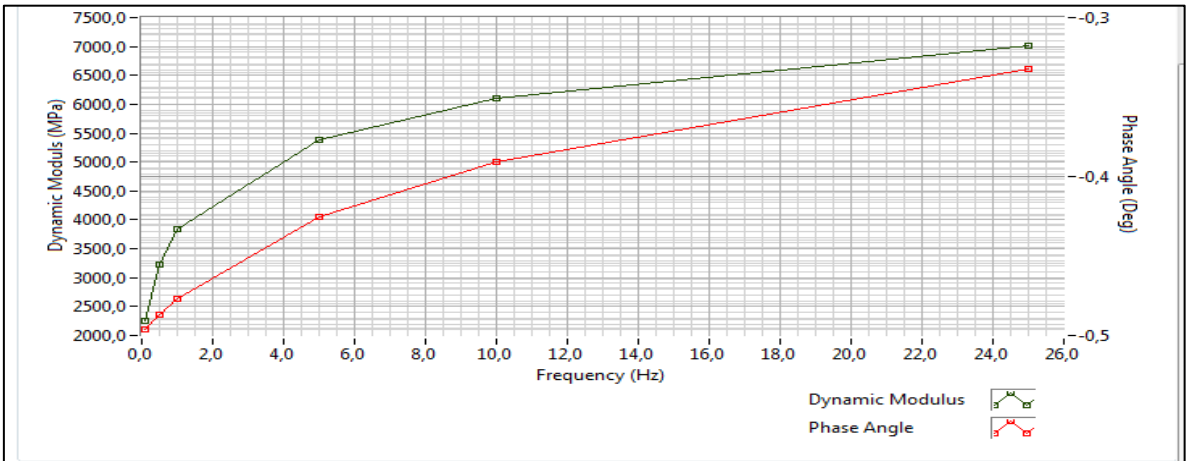
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,20	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	7016,30	25
10	6108,50	25
5	5385,70	25
1	3846,90	25
0,5	3235,80	25
0,1	2246,10	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	7016,3	6108,5	5385,7	3846,9	3235,8	2246,1
Phase angle (Deg) [24]	-0,332200	-0,390770	-0,425236	-0,476588	-0,486745	-0,496424
Strain magnitude [20]	24,179112	24,867936	24,910814	24,318792	24,454408	24,207949
Stress magnitude (kPa) [06]	169,647462	151,906683	134,162006	93,551403	79,129962	54,372982
Average strain error [21]	0,101456	0,089684	0,087516	0,121510	0,139995	0,210155
Uniformity coefficent for strain [22]	0,686358	0,652699	0,611247	0,579687	0,581027	0,523470
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,047066	0,072281	0,055795	0,075558	0,004713	0,000020

2.1.4 Temperatura 40 °C

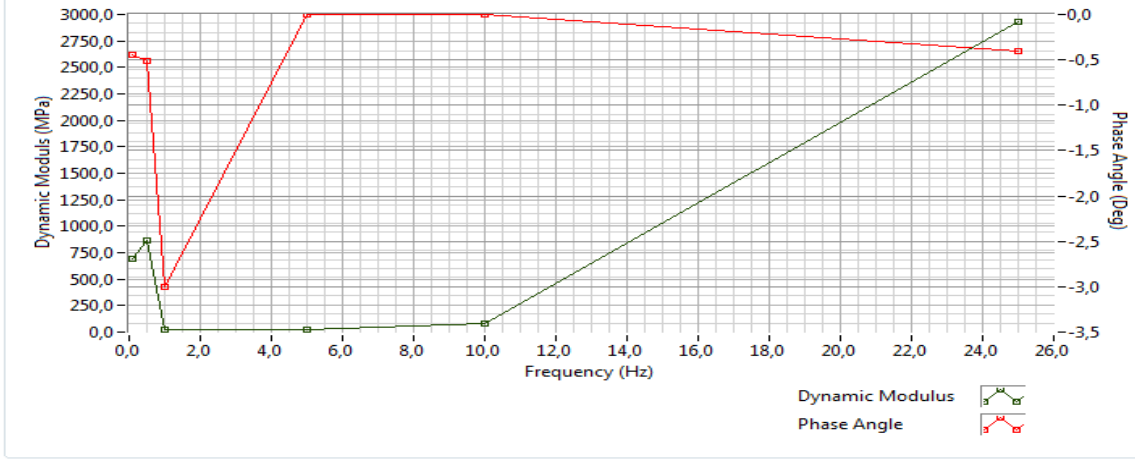
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2925,10	40
10	77,10	40
5	27,90	40
1	21,40	40
0,5	867,60	40
0,1	692,00	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2925,1	77,1	27,9	21,4	867,6	692,0
Phase angle (Deg) [24]	-0,406904	-0,003748	-0,006239	-3,000392	-0,511807	-0,450574
Strain magnitude [20]	24,778731	6,597023	3,373035	3,609704	24,797119	24,950887
Stress magnitude (kPa) [06]	72,481235	0,508589	0,094209	0,077111	21,515041	17,264924
Average strain error [21]	0,071107	4,122948	4,778961	4,169799	2,703285	2,468596
Uniformity coefficent for strain [22]	0,349441	0,372916	0,316544	0,312419	0,419193	0,363882
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,053327	-0,002673	-0,024166	-0,025705	0,089443	0,064720

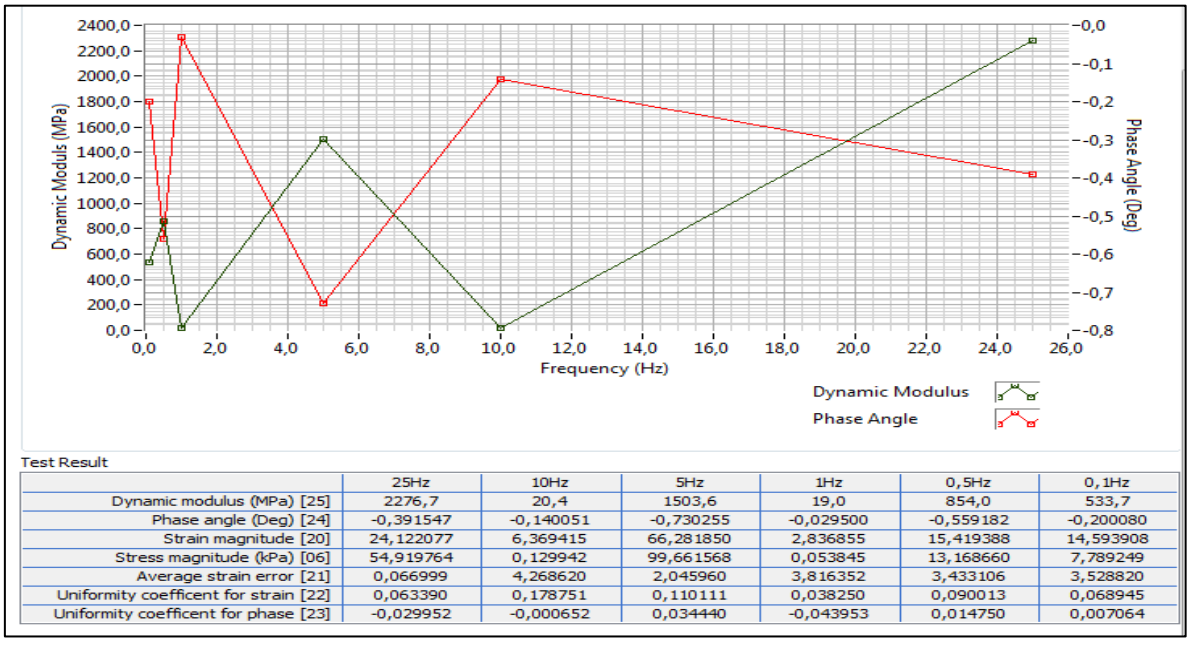
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,50	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,60	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2276,70	40
10	20,40	40
5	1503,60	40
1	19,00	40
0,5	854,00	40
0,1	533,70	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2276,7	20,4	1503,6	19,0	854,0	533,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,391547	-0,140051	-0,730255	-0,029500	-0,559182	-0,200080
Strain magnitude [20]	24,122077	6,369415	66,281850	2,836855	15,419388	14,593908
Stress magnitude (kPa) [06]	54,919764	0,129942	99,661568	0,053845	13,168660	7,789249
Average strain error [21]	0,066999	4,268620	2,045960	3,816352	3,433106	3,528820
Uniformity coefficent for strain [22]	0,063390	0,178751	0,110111	0,038250	0,090013	0,068945
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,029952	-0,000652	0,034440	-0,043953	0,014750	0,007064

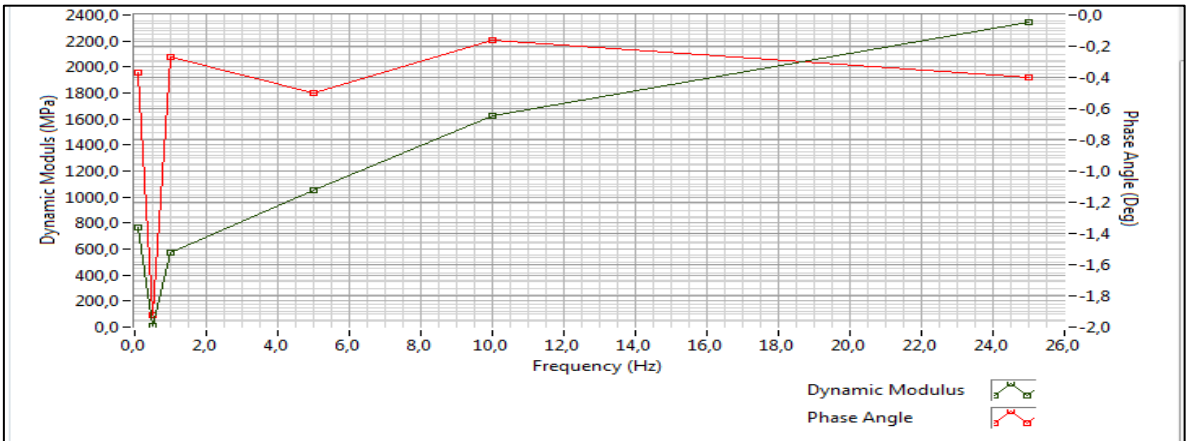
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,70	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2342,90	40
10	1627,40	40
5	1050,00	40
1	570,20	40
0,5	6,80	40
0,1	766,40	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2342,9	1627,4	1050,0	570,2	6,8	766,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,398768	-0,161964	-0,501250	-0,270298	-1,919974	-0,368183
Strain magnitude [20]	25,049684	24,891406	10,290705	3,097161	1,371987	171,802003
Stress magnitude (kPa) [06]	58,689100	40,509323	10,805043	1,765962	0,009271	131,665379
Average strain error [21]	0,068816	3,649690	3,262547	1,978312	4,927825	0,696550
Uniformity coefficent for strain [22]	0,212117	0,250724	0,208758	0,303178	0,122774	0,223569
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,052253	0,020133	0,131711	0,210594	-0,019651	0,007919

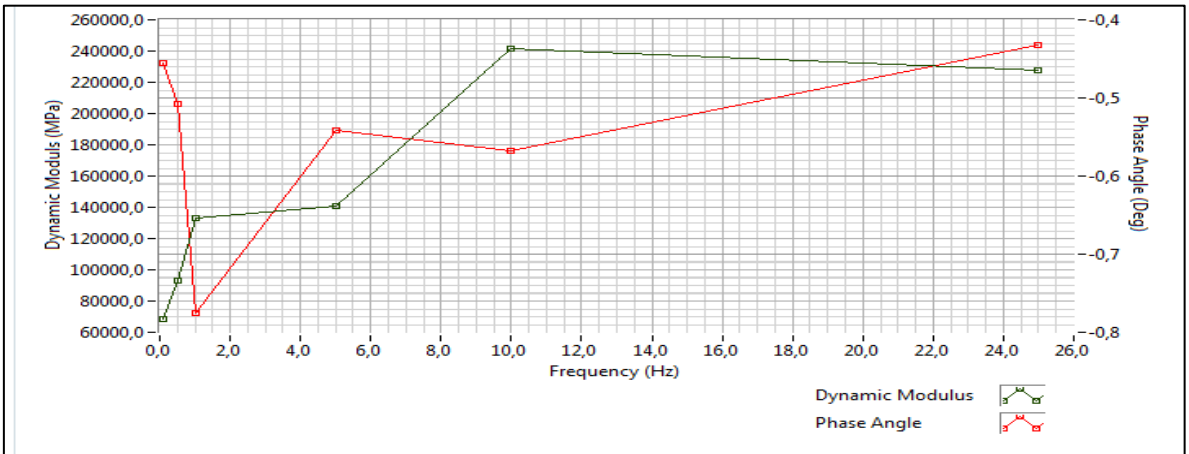
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	140,10	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	227469,20	40
10	241363,10	40
5	140455,80	40
1	133271,30	40
0,5	93371,70	40
0,1	68443,40	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	227469,2	241363,1	140455,8	133271,3	93371,7	68443,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,432276	-0,567487	-0,540885	-0,775721	-0,508118	-0,455422
Strain magnitude [20]	24,671824	110,654785	31,646034	31,432577	35,945467	33,787328
Stress magnitude (kPa) [06]	5612,079520	26707,978970	4444,867848	4189,060730	3356,289091	2312,520661
Average strain error [21]	0,090492	0,782237	1,897606	4,803045	1,721377	2,110988
Uniformity coefficent for strain [22]	0,683724	0,743210	0,827904	0,708140	0,796720	0,728962
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,136307	0,618997	0,203253	0,392777	0,146048	0,140326

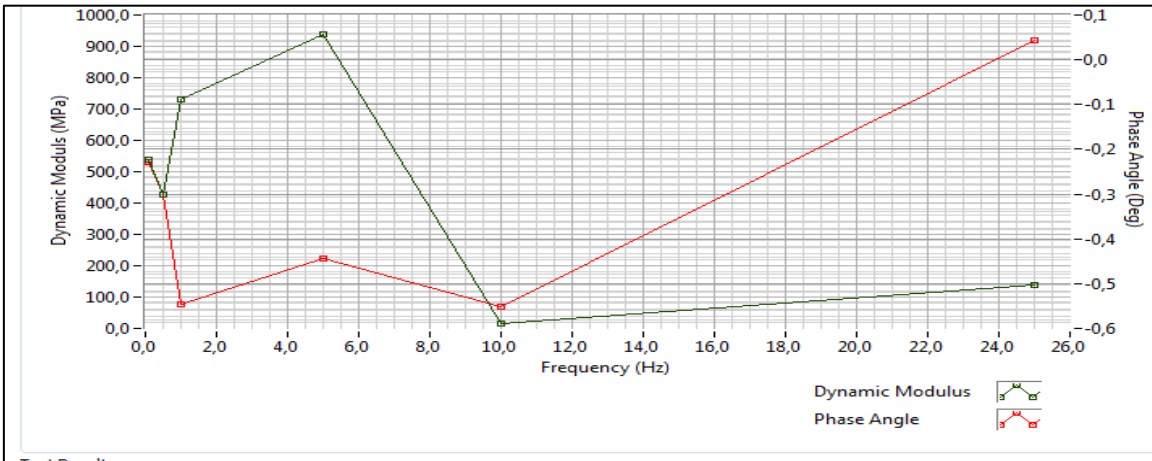
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	136,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	139,40	40
10	14,10	40
5	939,40	40
1	730,30	40
0,5	425,60	40
0,1	538,40	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	139,4	14,1	939,4	730,3	425,6	538,4
Phase angle (Deg) [24]	0,042281	-0,551843	-0,444451	-0,546734	-0,302241	-0,228956
Strain magnitude [20]	6,636342	2,723773	32,729252	39,336608	5,528662	19,053380
Stress magnitude (kPa) [06]	0,925022	0,038416	30,745558	28,726969	2,352805	10,258992
Average strain error [21]	3,676152	4,377912	2,567627	2,620130	2,455308	3,258797
Uniformity coefficent for strain [22]	0,027758	0,000176	0,087966	0,072014	0,010895	0,005274
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,017850	-0,010626	0,046105	0,050132	0,023079	0,007023

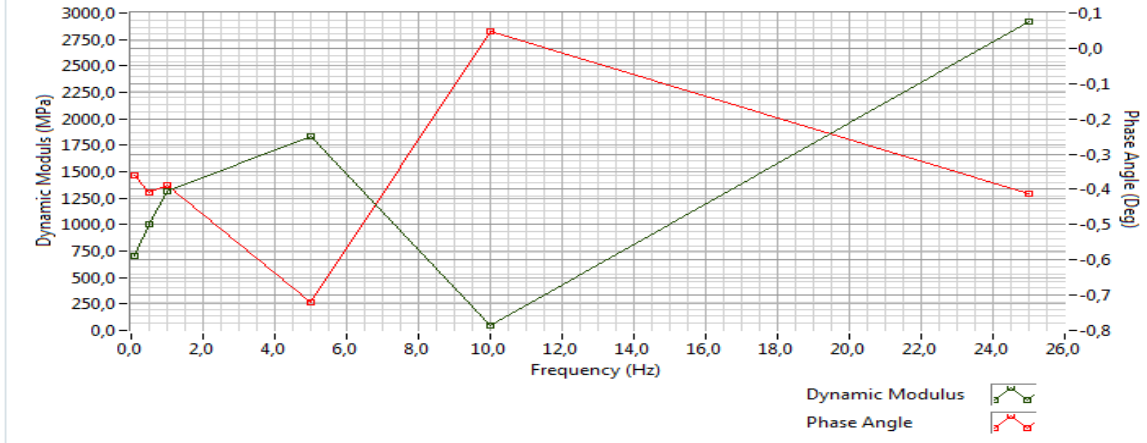
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,20	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2922,50	40
10	44,00	40
5	1839,80	40
1	1319,40	40
0,5	1001,00	40
0,1	709,10	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2922,5	44,0	1839,8	1319,4	1001,0	709,1
Phase angle (Deg) [24]	-0,413610	0,046401	-0,721731	-0,387930	-0,407691	-0,359578
Strain magnitude [20]	24,872206	4,423383	48,344920	53,036300	32,125841	22,355495
Stress magnitude (kPa) [06]	72,688827	0,194655	88,945189	69,975633	32,157901	15,851462
Average strain error [21]	0,106878	4,447535	2,646315	1,996921	2,461527	2,444508
Uniformity coefficent for strain [22]	0,655980	0,762851	0,712803	0,664184	0,660829	0,619703
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,064308	-0,012530	0,276701	0,068195	0,077603	0,060874

2.1.5 Temperatura 50 °C

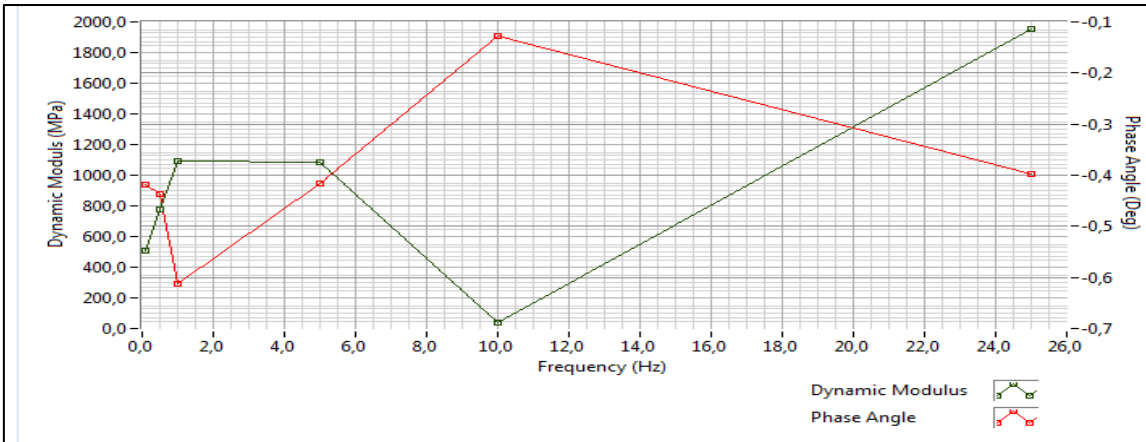
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	1950,50	50
10	41,60	50
5	1082,80	50
1	1089,30	50
0,5	773,40	50
0,1	506,90	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	1950,5	41,6	1082,8	1089,3	773,4	506,9
Phase angle (Deg) [24]	-0,397139	-0,128343	-0,416331	-0,612903	-0,436596	-0,419377
Strain magnitude [20]	24,876212	13,068698	24,116081	35,138403	72,837519	55,873452
Stress magnitude (kPa) [06]	48,522055	0,543290	26,112799	38,277491	56,329370	28,323567
Average strain error [21]	0,098289	4,278476	3,031780	4,133869	0,701982	1,465232
Uniformity coefficent for strain [22]	0,699682	0,485477	0,556662	0,423489	0,493857	0,581430
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,022293	-0,008624	0,148984	0,085223	0,056435	0,048756

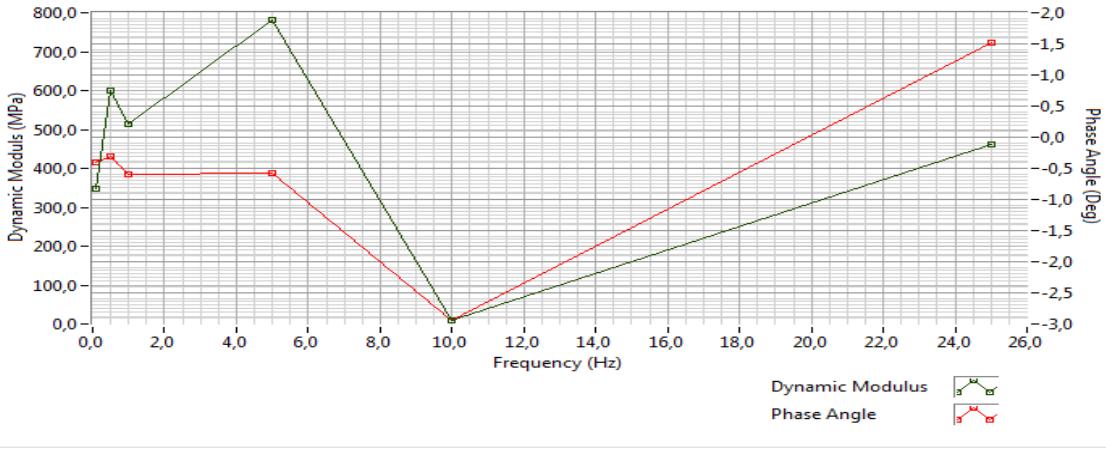
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,50	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,60	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	462,00	50
10	9,20	50
5	781,50	50
1	515,30	50
0,5	600,20	50
0,1	347,00	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	462,0	9,2	781,5	515,3	600,2	347,0
Phase angle (Deg) [24]	1,521276	-2,947520	-0,569098	-0,596045	-0,307914	-0,396179
Strain magnitude [20]	5,336628	2,102039	59,561823	44,148359	127,338249	51,448826
Stress magnitude (kPa) [06]	2,465584	0,019252	46,547803	22,749899	76,429795	17,852481
Average strain error [21]	5,612386	4,347489	2,250967	2,761187	1,864746	2,010689
Uniformity coefficent for strain [22]	0,089175	0,013326	0,065143	0,060272	0,037451	0,065316
Uniformity coefficent for phase [23]	2464,426009	-0,009885	0,048351	0,025370	0,020849	0,028512

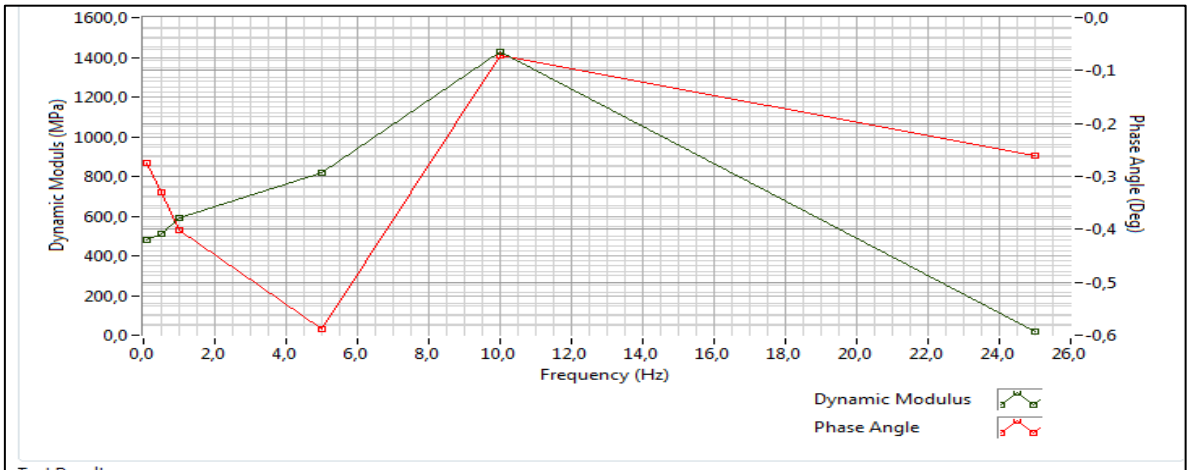
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,70	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	21,50	50
10	1430,70	50
5	817,70	50
1	592,60	50
0,5	507,70	50
0,1	480,50	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	21,5	1430,7	817,7	592,6	507,7	480,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,260165	-0,072285	-0,587785	-0,401475	-0,330920	-0,274401
Strain magnitude [20]	5,229309	72,694415	55,523227	40,530251	41,060952	47,172081
Stress magnitude (kPa) [06]	0,112171	104,006584	45,399287	24,019615	20,847953	22,666876
Average strain error [21]	4,610156	3,269334	2,326821	1,965237	2,445563	2,102559
Uniformity coefficent for strain [22]	0,120214	0,002343	0,104521	0,144228	0,122832	0,106835
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,027682	0,057774	0,235312	0,069122	0,072111	0,071962

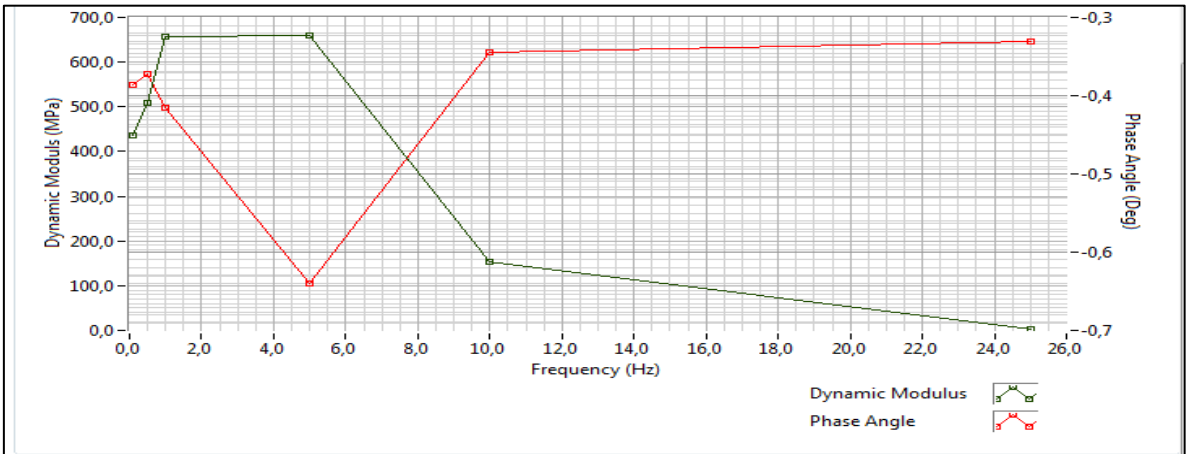
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	140,10	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	3,30	50
10	152,70	50
5	659,20	50
1	657,00	50
0,5	509,40	50
0,1	437,50	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	3,3	152,7	659,2	657,0	509,4	437,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,330975	-0,343850	-0,640537	-0,415786	-0,372854	-0,385921
Strain magnitude [20]	1,298788	13,480691	16,053602	57,131427	43,485325	35,298332
Stress magnitude (kPa) [06]	0,004225	2,059133	10,582871	37,535305	22,152057	15,444281
Average strain error [21]	4,407537	3,783070	3,441925	1,726767	2,541872	2,393863
Uniformity coefficent for strain [22]	0,112642	0,709503	0,611139	0,476280	0,380710	0,277889
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,122463	-0,013210	0,544597	0,070510	0,036636	0,007251

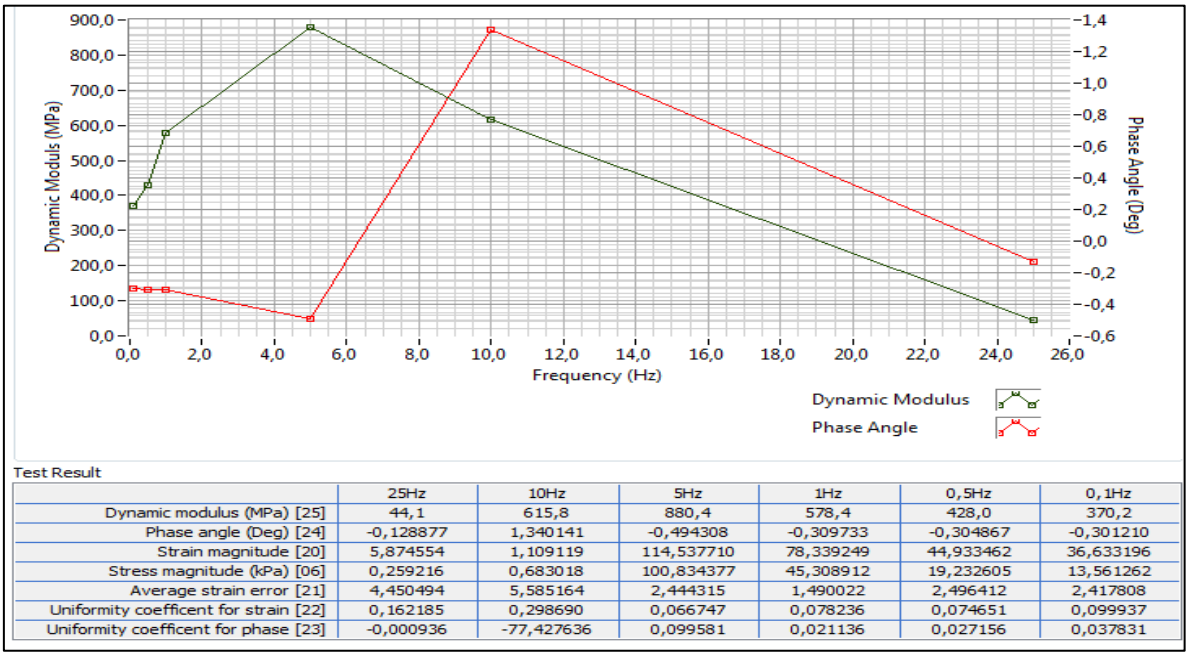
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	136,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	44,10	50
10	615,80	50
5	880,40	50
1	578,40	50
0,5	428,00	50
0,1	370,20	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	44,1	615,8	880,4	578,4	428,0	370,2
Phase angle (Deg) [24]	-0,128877	1,340141	-0,494308	-0,309733	-0,304867	-0,301210
Strain magnitude [20]	5,874554	1,109119	114,537710	78,339249	44,933462	36,633196
Stress magnitude (kPa) [06]	0,259216	0,683018	100,834377	45,308912	19,232605	13,561262
Average strain error [21]	4,450494	5,585164	2,444315	1,490022	2,496412	2,417808
Uniformity coefficent for strain [22]	0,162185	0,298690	0,066747	0,078236	0,074651	0,099937
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,000936	-77,427636	0,099581	0,021136	0,027156	0,037831

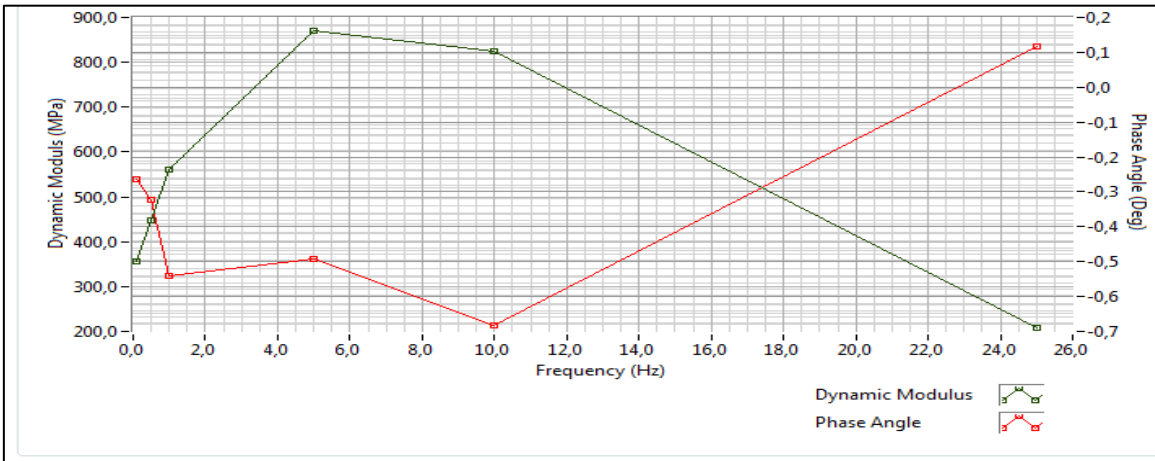
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	MEZCLA ASFALTICA EPMMOP
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	101,30	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	138,20	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	209,40	50
10	824,50	50
5	869,20	50
1	561,80	50
0,5	448,40	50
0,1	355,90	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	209,4	824,5	869,2	561,8	448,4	355,9
Phase angle (Deg) [24]	0,116202	-0,684217	-0,492454	-0,540117	-0,322735	-0,262963
Strain magnitude [20]	1,325960	30,099339	71,227440	27,385295	8,739045	8,241784
Stress magnitude (kPa) [06]	0,277718	24,817033	61,909947	15,384811	3,918221	2,933511
Average strain error [21]	4,810667	2,650282	0,970260	3,076861	2,473156	2,267958
Uniformity coefficent for strain [22]	0,179672	0,367477	0,223652	0,126669	0,072411	0,228523
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,097713	-0,009923	0,075134	0,016670	0,101330	0,095586

2.2 Mezcla Fría

2.2.1 Temperatura -10 °C

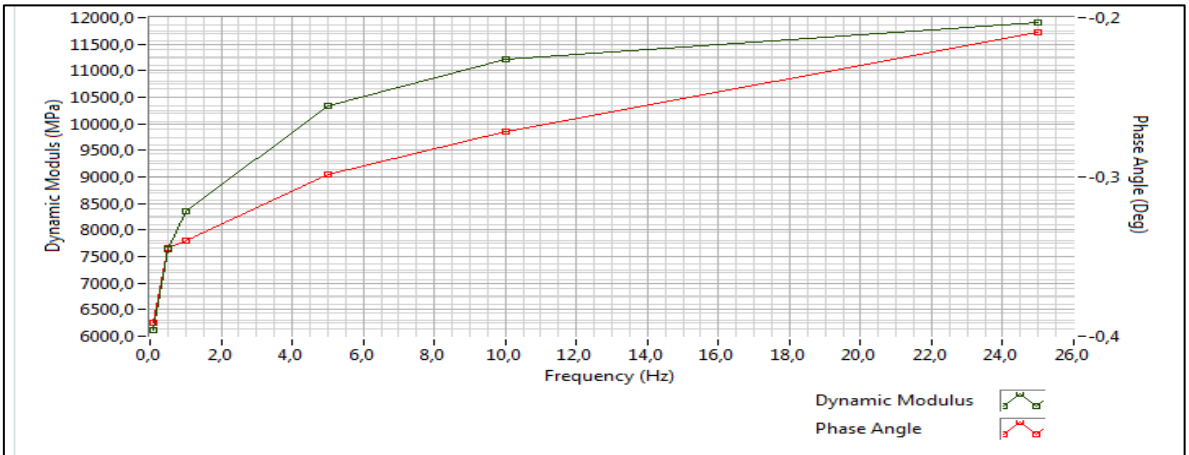
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	132,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	11912,00	-10
10	11217,30	-10
5	10333,00	-10
1	8342,50	-10
0,5	7631,30	-10
0,1	6114,70	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	11912,0	11217,3	10333,0	8342,5	7631,3	6114,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,208996	-0,271395	-0,298409	-0,339643	-0,344677	-0,391198
Strain magnitude [20]	22,921842	24,546192	24,925325	26,763327	26,476240	26,562513
Stress magnitude (kPa) [06]	273,045712	275,341501	257,553867	223,274218	202,048177	162,422400
Average strain error [21]	0,119335	0,118767	0,093205	0,072352	0,082730	0,088827
Uniformity coefficent for strain [22]	0,182514	0,048919	0,039149	0,171987	0,426648	0,379808
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,365807	0,113533	0,090083	0,104721	0,131328	0,174963

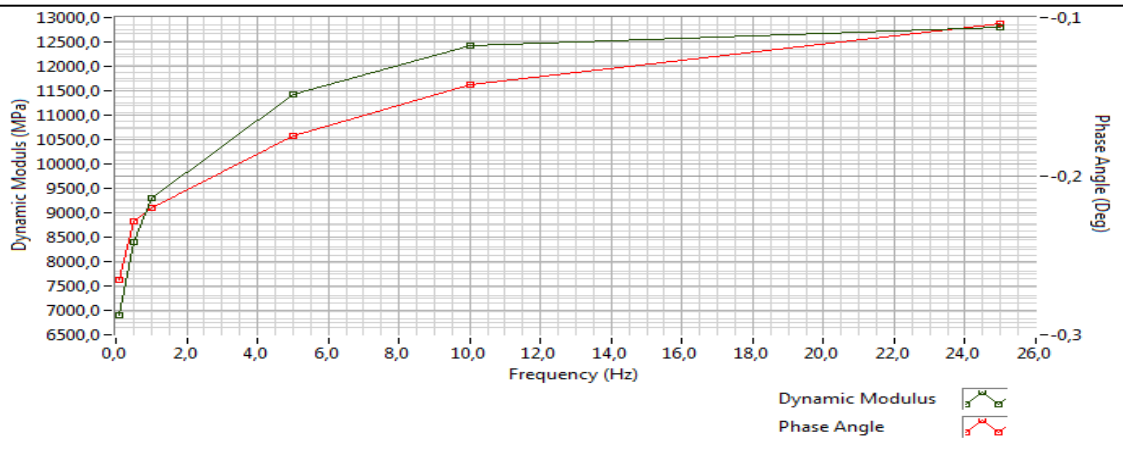
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	12801,50	-10
10	12413,30	-10
5	11413,40	-10
1	9307,00	-10
0,5	8402,90	-10
0,1	6887,60	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	12801,5	12413,3	11413,4	9307,0	8402,9	6887,6
Phase angle (Deg) [24]	-0,103606	-0,142551	-0,174522	-0,219667	-0,228691	-0,265714
Strain magnitude [20]	22,410021	24,110827	24,317017	26,012212	26,288119	27,297467
Stress magnitude (kPa) [06]	286,880917	299,293934	277,539394	242,094745	220,895612	188,014239
Average strain error [21]	0,096110	0,095161	0,074703	0,059627	0,091002	0,073966
Uniformity coefficent for strain [22]	0,189151	0,227839	0,250617	0,294136	0,311304	0,373745
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,089475	0,022487	0,017504	0,012430	0,018939	0,043740

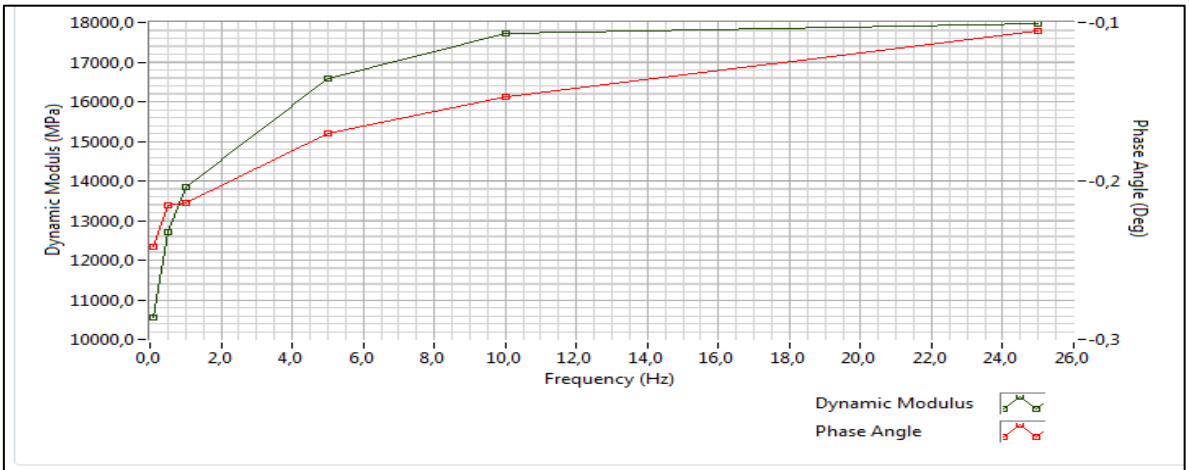
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	141,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	17978,60	-10
10	17724,50	-10
5	16594,70	-10
1	13843,60	-10
0,5	12721,50	-10
0,1	10552,00	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	17978,6	17724,5	16594,7	13843,6	12721,5	10552,0
Phase angle (Deg) [24]	-0,105184	-0,146609	-0,169867	-0,213641	-0,215332	-0,241546
Strain magnitude [20]	22,506300	24,325263	24,778017	27,038946	27,184106	28,179018
Stress magnitude (kPa) [06]	404,632012	431,152569	411,183634	374,315061	345,821644	297,344514
Average strain error [21]	0,092194	0,099926	0,083295	0,061789	0,068493	0,101108
Uniformity coefficent for strain [22]	0,381343	0,411959	0,414295	0,462253	0,509132	0,478904
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,203474	0,030520	0,015093	0,024291	0,033943	0,046409

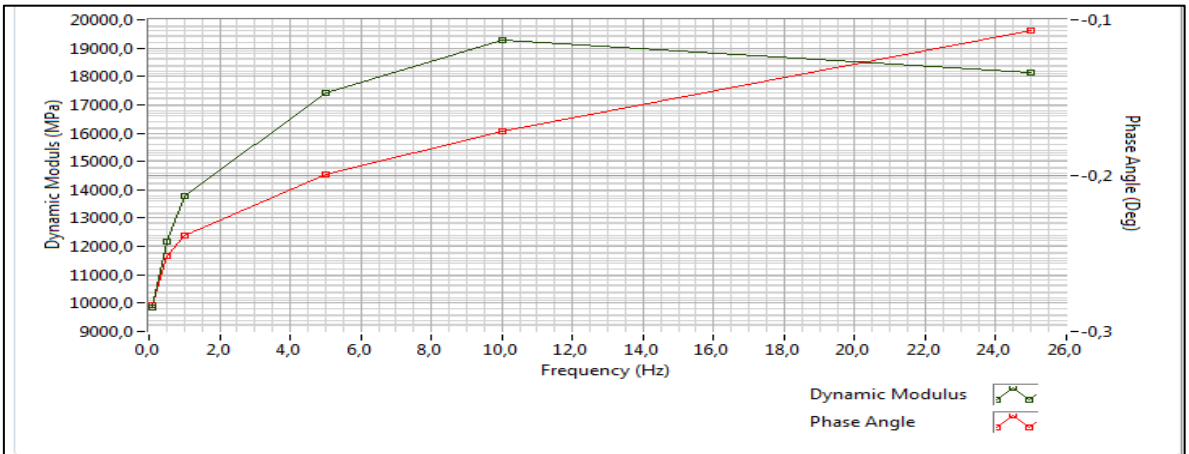
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	18148,90	-10
10	19274,50	-10
5	17433,90	-10
1	13784,90	-10
0,5	12169,40	-10
0,1	9864,20	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	18148,9	19274,5	17433,9	13784,9	12169,4	9864,2
Phase angle (Deg) [24]	-0,106762	-0,171394	-0,199298	-0,238444	-0,251863	-0,283429
Strain magnitude [20]	21,820389	23,649205	24,782730	27,414417	27,537744	28,187973
Stress magnitude (kPa) [06]	396,016938	455,827747	432,060234	377,904182	335,118971	278,052250
Average strain error [21]	0,112822	0,124269	0,087868	0,065973	0,072597	0,064625
Uniformity coefficent for strain [22]	0,126892	0,009524	0,027001	0,099780	0,170247	0,189633
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,145429	0,000545	0,013829	0,004781	0,014909	0,038272

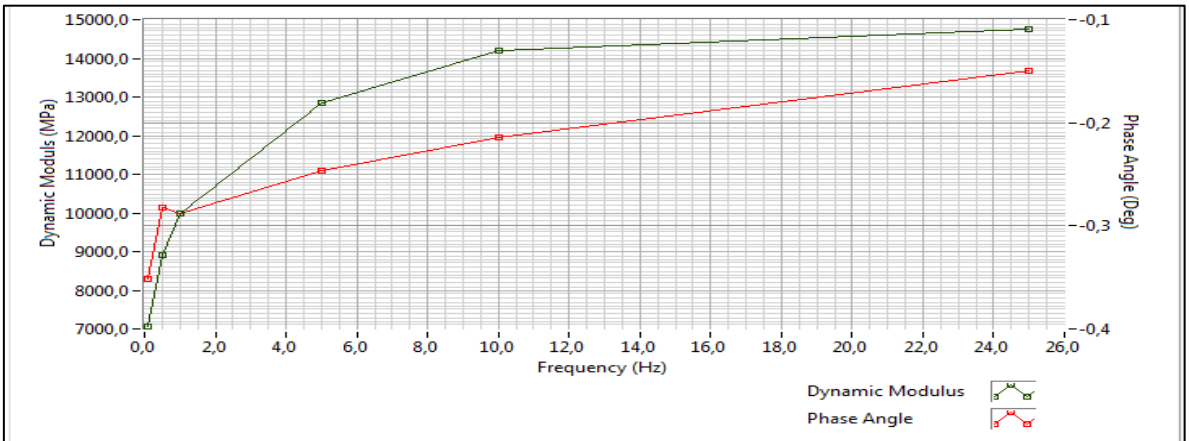
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	14759,20	-10
10	14206,00	-10
5	12860,10	-10
1	9992,40	-10
0,5	8901,60	-10
0,1	7073,70	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	14759,2	14206,0	12860,1	9992,4	8901,6	7073,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,149854	-0,214387	-0,246070	-0,288349	-0,282502	-0,351754
Strain magnitude [20]	22,633177	24,745708	25,081991	27,090164	26,754282	27,175822
Stress magnitude (kPa) [06]	334,047263	351,537428	322,557160	270,694895	238,154940	192,234779
Average strain error [21]	0,113019	0,132782	0,102220	0,073890	0,070279	0,103089
Uniformity coefficent for strain [22]	0,160980	0,288636	0,313628	0,354031	0,365836	0,461680
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,126987	0,088556	0,047496	0,026982	0,026978	0,081751

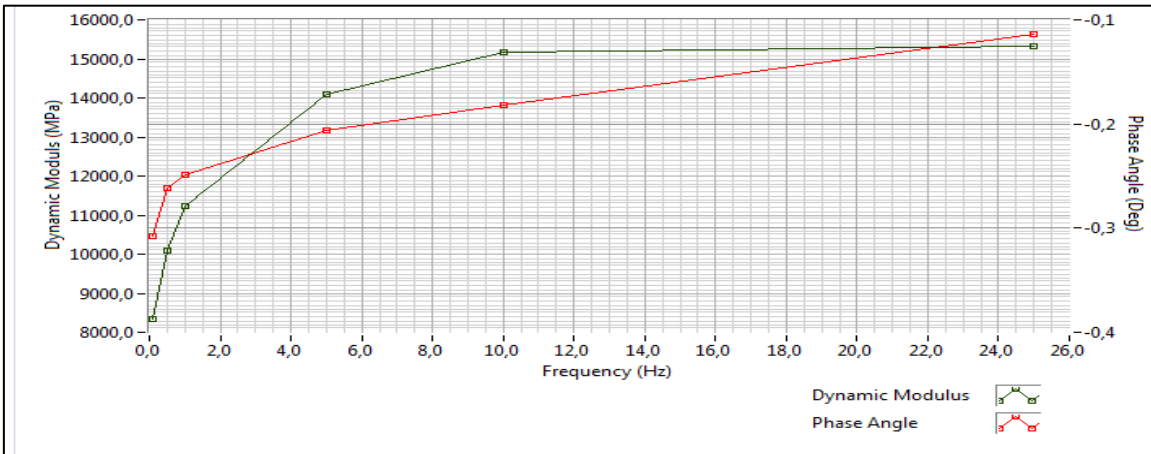
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	15326,50	-10
10	15160,40	-10
5	14094,00	-10
1	11241,20	-10
0,5	10092,20	-10
0,1	8323,30	-10

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	15326,5	15160,4	14094,0	11241,2	10092,2	8323,3
Phase angle (Deg) [24]	-0,113885	-0,181639	-0,206671	-0,248714	-0,261965	-0,307177
Strain magnitude [20]	22,473011	24,263642	24,510017	27,130414	27,324916	27,243906
Stress magnitude (kPa) [06]	344,431893	367,845556	345,443207	304,978262	275,769053	226,758942
Average strain error [21]	0,096558	0,124419	0,099011	0,066507	0,074801	0,102305
Uniformity coefficent for strain [22]	0,193860	0,404230	0,375095	0,252160	0,228505	0,337575
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,175593	0,137055	0,042595	0,021430	0,011601	0,005071

2.2.2 Temperatura 5 °C

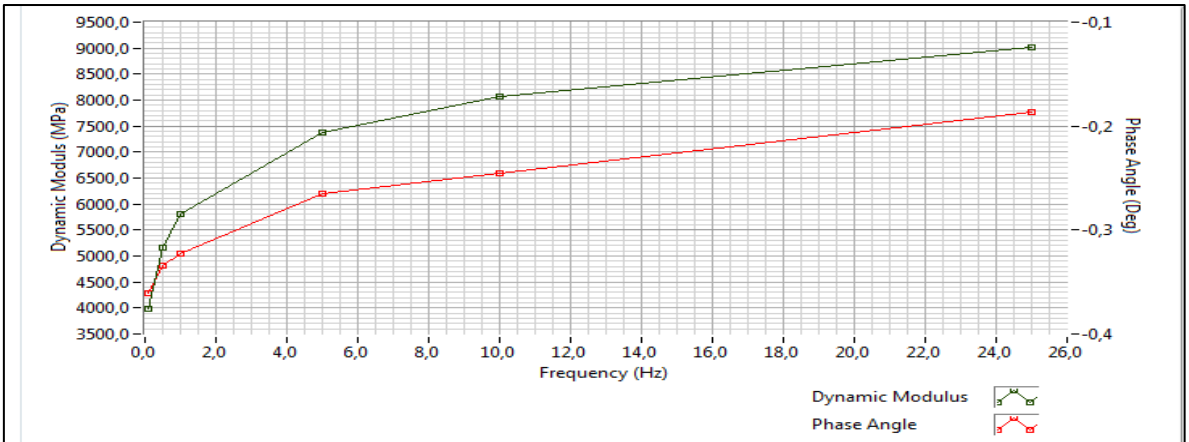
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	132,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	9023,90	5
10	8078,60	5
5	7387,60	5
1	5796,20	5
0,5	5170,10	5
0,1	3983,00	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	9023,9	8078,6	7387,6	5796,2	5170,1	3983,0
Phase angle (Deg) [24]	-0,186242	-0,245158	-0,265453	-0,322892	-0,333743	-0,360586
Strain magnitude [20]	22,928601	24,139830	24,502497	25,361902	25,163171	24,642916
Stress magnitude (kPa) [06]	206,904292	195,016216	181,014675	147,003598	130,097227	98,151767
Average strain error [21]	0,085808	0,081044	0,076937	0,063294	0,060834	0,075125
Uniformity coefficent for strain [22]	0,188238	0,158212	0,148392	0,159190	0,147622	0,091204
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,115145	0,112954	0,058067	0,033139	0,030538	0,040481

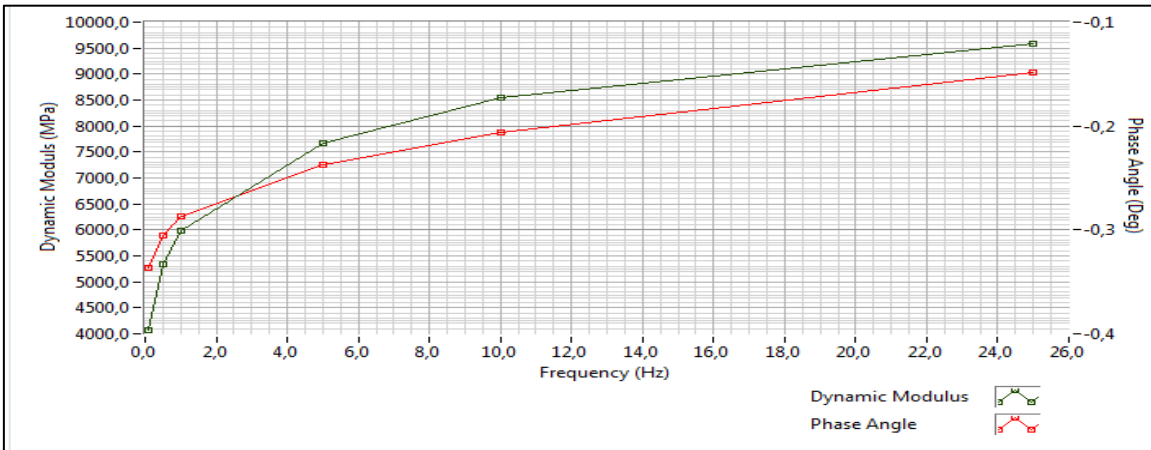
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	9583,80	5
10	8545,80	5
5	7673,90	5
1	5995,50	5
0,5	5347,90	5
0,1	4070,40	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	9583,8	8545,8	7673,9	5995,5	5347,9	4070,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,147889	-0,206666	-0,237087	-0,286477	-0,305285	-0,336231
Strain magnitude [20]	21,784361	24,304286	24,242911	25,044207	24,881345	24,707876
Stress magnitude (kPa) [06]	208,777810	207,699010	186,037553	150,151536	133,062243	100,570742
Average strain error [21]	0,094973	0,077458	0,068313	0,053923	0,056239	0,059423
Uniformity coefficent for strain [22]	0,270749	0,265536	0,234668	0,192825	0,164164	0,095682
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,071248	0,030661	0,018479	0,009297	0,003082	0,007245

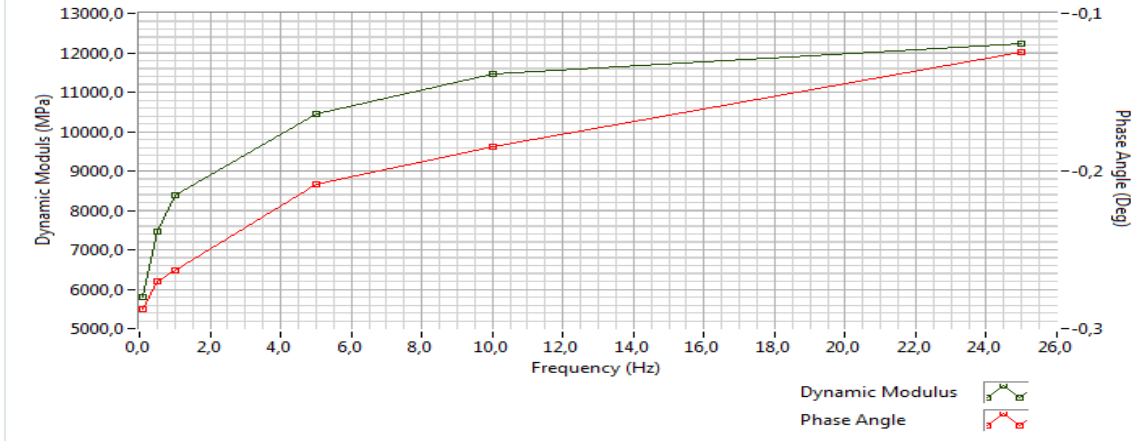
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	141,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	12216,00	5
10	11471,60	5
5	10438,10	5
1	8377,30	5
0,5	7470,20	5
0,1	5814,50	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	12216,0	11471,6	10438,1	8377,3	7470,2	5814,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,124252	-0,184757	-0,208252	-0,262844	-0,270156	-0,287967
Strain magnitude [20]	23,503225	24,717565	24,700956	26,298568	26,161986	26,528483
Stress magnitude (kPa) [06]	287,116128	283,550350	257,829944	220,311295	195,434445	154,250580
Average strain error [21]	0,083876	0,091705	0,074951	0,057942	0,061365	0,056672
Uniformity coefficent for strain [22]	0,108007	0,095734	0,107352	0,123264	0,095914	0,010799
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,073074	0,018772	0,011750	0,009166	0,009720	0,006778

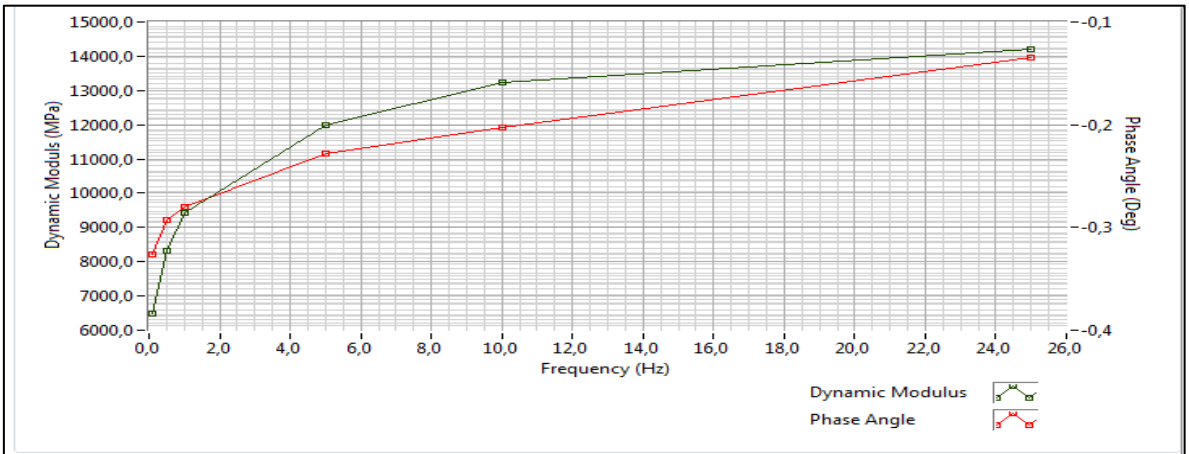
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	14199,70	5
10	13229,40	5
5	11998,70	5
1	9414,40	5
0,5	8312,50	5
0,1	6473,50	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	14199,7	13229,4	11998,7	9414,4	8312,5	6473,5
Phase angle (Deg) [24]	-0,135090	-0,202854	-0,227666	-0,280057	-0,293121	-0,326020
Strain magnitude [20]	22,724377	24,369864	24,438898	26,174067	26,392734	26,694271
Stress magnitude (kPa) [06]	322,680274	322,398806	293,235489	246,412164	219,390340	172,805343
Average strain error [21]	0,095412	0,108971	0,092669	0,077492	0,080761	0,072322
Uniformity coefficent for strain [22]	0,580163	0,632571	0,606234	0,588219	0,547300	0,508821
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,154892	0,068772	0,040436	0,023371	0,031349	0,012438

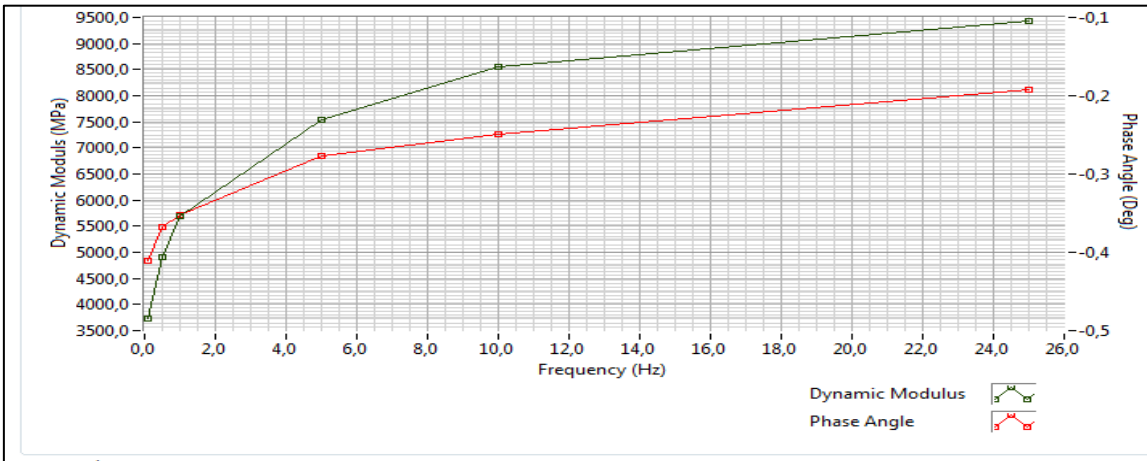
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	9432,90	5
10	8558,10	5
5	7538,40	5
1	5697,70	5
0,5	4906,80	5
0,1	3731,30	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	9432,9	8558,1	7538,4	5697,7	4906,8	3731,3
Phase angle (Deg) [24]	-0,192595	-0,249206	-0,277409	-0,352701	-0,367378	-0,410935
Strain magnitude [20]	23,453714	24,713662	24,782887	25,877533	25,498778	24,663885
Stress magnitude (kPa) [06]	221,237112	211,500856	186,823648	147,442196	125,117050	92,027910
Average strain error [21]	0,103199	0,099087	0,079933	0,063801	0,073182	0,076229
Uniformity coefficent for strain [22]	0,113436	0,075758	0,078122	0,085971	0,092985	0,011804
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,077731	0,056848	0,025853	0,034377	0,031898	0,039200

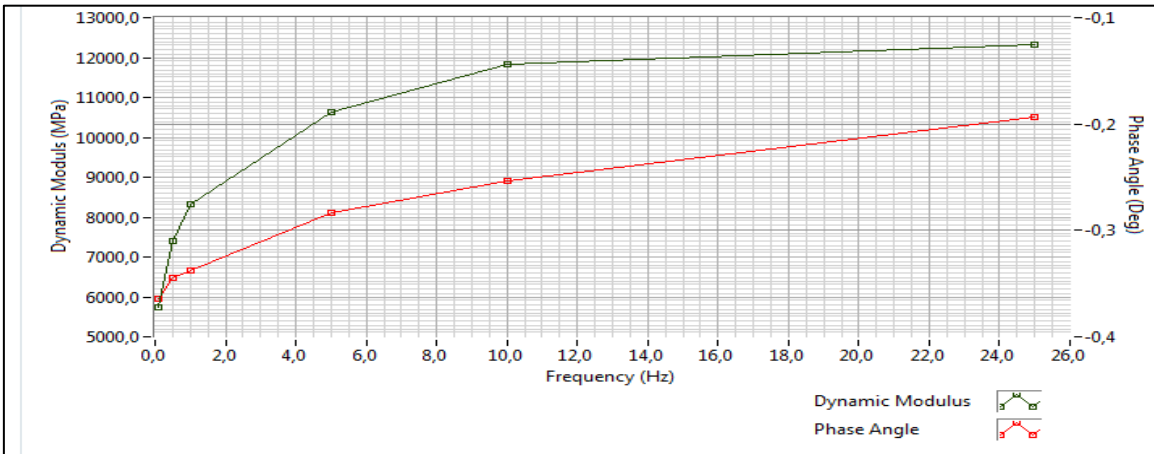
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	12308,50	5
10	11833,40	5
5	10622,70	5
1	8338,20	5
0,5	7402,90	5
0,1	5736,70	5

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	12308,5	11833,4	10622,7	8338,2	7402,9	5736,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,193733	-0,253842	-0,283868	-0,337475	-0,344156	-0,364168
Strain magnitude [20]	23,740925	24,746672	25,245534	26,320471	26,633459	26,512132
Stress magnitude (kPa) [06]	292,214340	292,837582	268,176291	219,466571	197,164073	152,091459
Average strain error [21]	0,105170	0,113546	0,086415	0,073926	0,074657	0,072184
Uniformity coefficent for strain [22]	0,328886	0,346085	0,321591	0,340896	0,355303	0,456616
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,151963	0,112522	0,080500	0,067139	0,067065	0,075199

2.2.3 Temperatura 25 °C

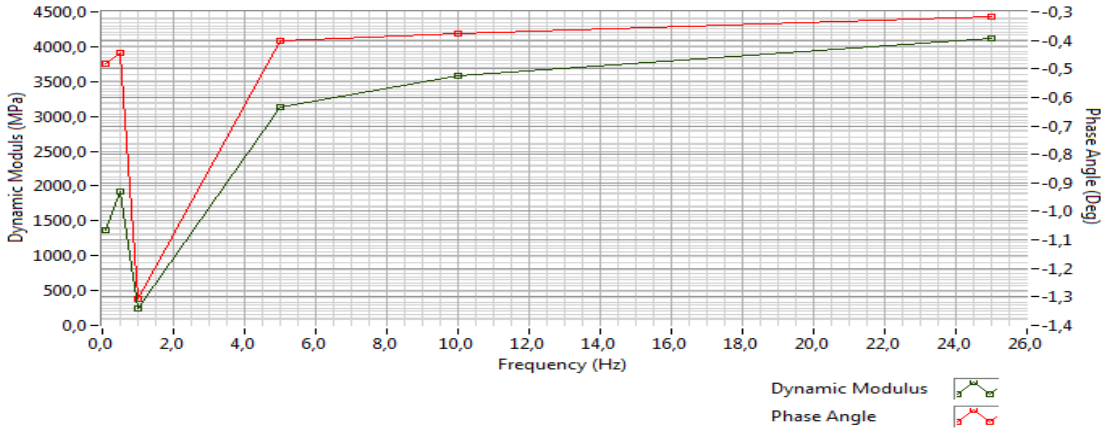
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	132,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	4121,90	25
10	3581,70	25
5	3139,10	25
1	238,50	25
0,5	1913,60	25
0,1	1375,40	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	4121,9	3581,7	3139,1	238,5	1913,6	1375,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,318552	-0,374643	-0,401666	-1,308593	-0,444010	-0,482953
Strain magnitude [20]	24,554021	25,154856	25,167763	3,842896	65,093721	77,148021
Stress magnitude (kPa) [06]	101,208327	90,096670	79,004092	0,916625	124,563902	106,109543
Average strain error [21]	0,079448	0,073969	0,074277	3,883153	1,215666	1,834144
Uniformity coefficent for strain [22]	0,042084	0,051014	0,058366	0,146260	0,093007	0,082936
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,066308	0,163222	0,047160	-0,022171	0,017270	0,043175

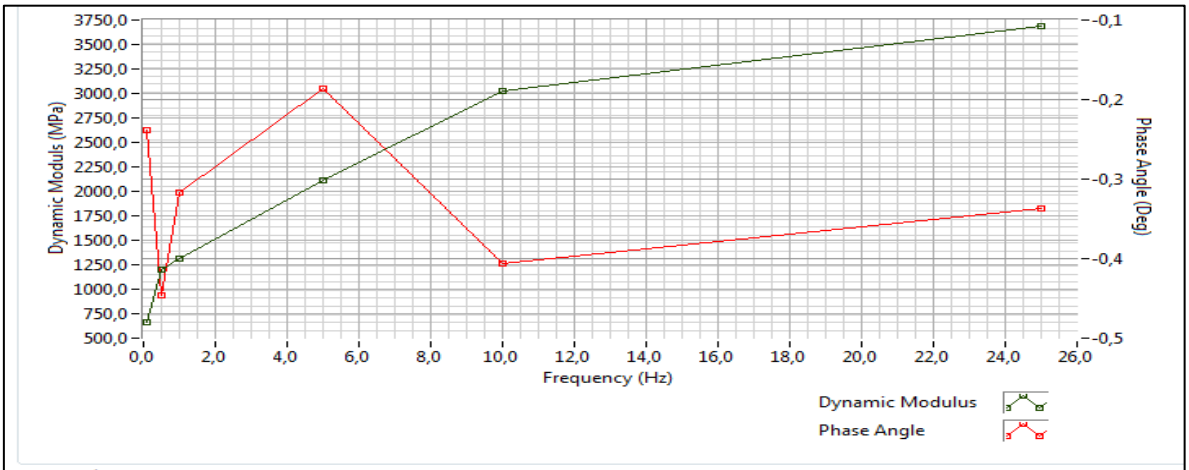
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	3685,20	25
10	3025,60	25
5	2111,30	25
1	1315,50	25
0,5	1196,00	25
0,1	660,10	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	3685,2	3025,6	2111,3	1315,5	1196,0	660,1
Phase angle (Deg) [24]	-0,336267	-0,406588	-0,186308	-0,316837	-0,446916	-0,239186
Strain magnitude [20]	24,738525	25,095038	9,108763	18,786249	19,749888	10,050274
Stress magnitude (kPa) [06]	91,165651	75,927926	19,231368	24,712659	23,620651	6,633992
Average strain error [21]	0,071993	0,078781	2,888923	2,085232	2,283914	3,958801
Uniformity coefficent for strain [22]	0,223242	0,271107	0,244445	0,210439	0,312522	0,273288
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,053239	0,358060	0,002655	0,021635	0,003722	0,011955

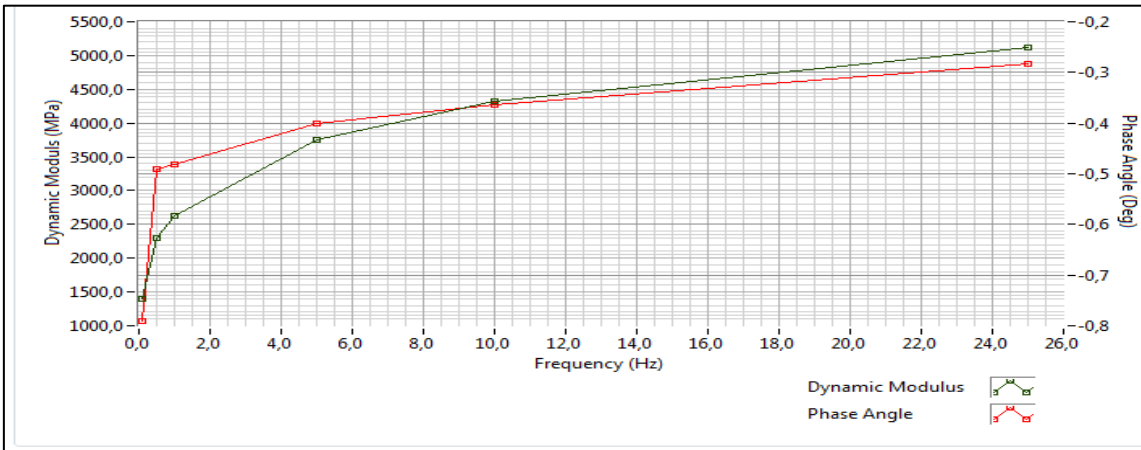
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	141,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	5116,20	25
10	4325,80	25
5	3760,00	25
1	2619,70	25
0,5	2302,10	25
0,1	1390,30	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	5116,2	4325,8	3760,0	2619,7	2302,1	1390,3
Phase angle (Deg) [24]	-0,281990	-0,363604	-0,400304	-0,481885	-0,489685	-0,791119
Strain magnitude [20]	24,599725	25,133877	25,460482	24,976605	25,505494	26,032927
Stress magnitude (kPa) [06]	125,857595	108,722944	95,730989	65,431013	58,716110	36,193212
Average strain error [21]	0,083063	0,078466	0,074038	0,090828	0,108799	4,208722
Uniformity coefficent for strain [22]	0,062297	0,103391	0,086880	0,022815	0,020097	0,002633
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,108952	0,023052	0,015881	0,009114	0,010711	0,097362

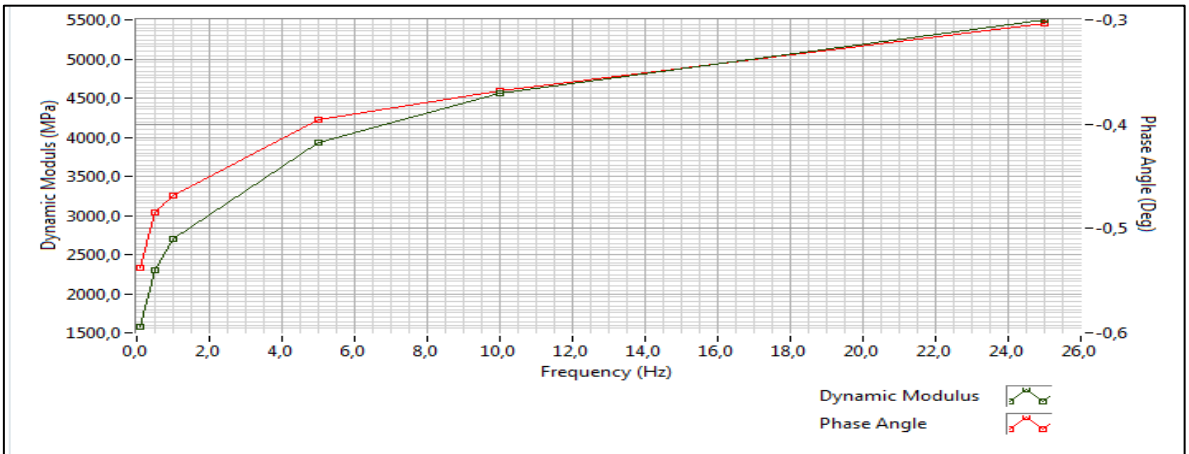
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	5500,00	25
10	4554,00	25
5	3934,50	25
1	2693,60	25
0,5	2296,90	25
0,1	1572,00	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	5500,0	4554,0	3934,5	2693,6	2296,9	1572,0
Phase angle (Deg) [24]	-0,303603	-0,368031	-0,395475	-0,468225	-0,484795	-0,537973
Strain magnitude [20]	24,686340	25,055261	25,036989	24,956268	24,954166	23,705584
Stress magnitude (kPa) [06]	135,775971	114,101117	98,507366	67,222158	57,316329	37,264957
Average strain error [21]	0,085663	0,077889	0,072517	0,071494	0,075551	0,214231
Uniformity coefficent for strain [22]	0,258168	0,276519	0,270073	0,293348	0,317143	0,325999
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,083744	0,096637	0,033338	0,037268	0,031152	0,041337

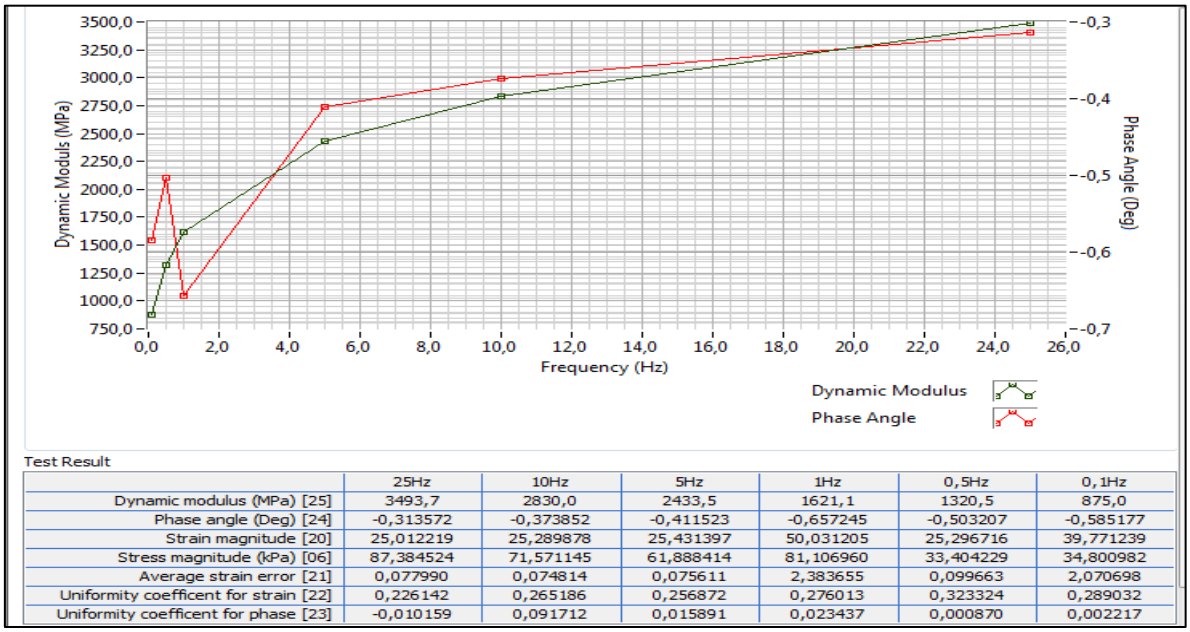
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	3493,70	25
10	2830,00	25
5	2433,50	25
1	1621,10	25
0,5	1320,50	25
0,1	875,00	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	3493,7	2830,0	2433,5	1621,1	1320,5	875,0
Phase angle (Deg) [24]	-0,313572	-0,373852	-0,411523	-0,657245	-0,503207	-0,585177
Strain magnitude [20]	25,012219	25,289878	25,431397	50,031205	25,296716	39,771239
Stress magnitude (kPa) [06]	87,384524	71,571145	61,888414	81,106960	33,404229	34,800982
Average strain error [21]	0,077990	0,074814	0,075611	2,383655	0,099663	2,070698
Uniformity coefficent for strain [22]	0,226142	0,265186	0,256872	0,276013	0,323324	0,289032
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,010159	0,091712	0,015891	0,023437	0,000870	0,002217

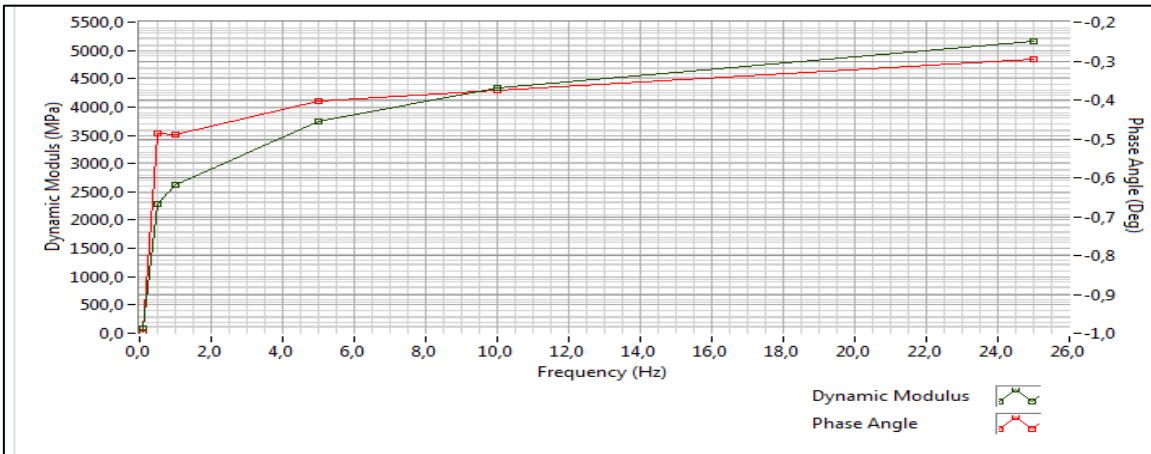
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	5167,50	25
10	4337,50	25
5	3739,60	25
1	2624,90	25
0,5	2294,60	25
0,1	93,80	25

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	5167,5	4337,5	3739,6	2624,9	2294,6	93,8
Phase angle (Deg) [24]	-0,294208	-0,375928	-0,402907	-0,489280	-0,487121	-0,997860
Strain magnitude [20]	24,628139	25,081272	25,430876	26,234302	25,895031	2,248647
Stress magnitude (kPa) [06]	127,265106	108,789978	95,100084	68,862200	59,417780	0,210844
Average strain error [21]	0,083916	0,077197	0,076523	0,086638	0,085596	4,004123
Uniformity coefficent for strain [22]	0,290527	0,309926	0,299685	0,330253	0,329578	0,213605
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,085279	0,107035	0,064715	0,068079	0,081123	-0,004117

2.2.4 Temperatura 40 °C

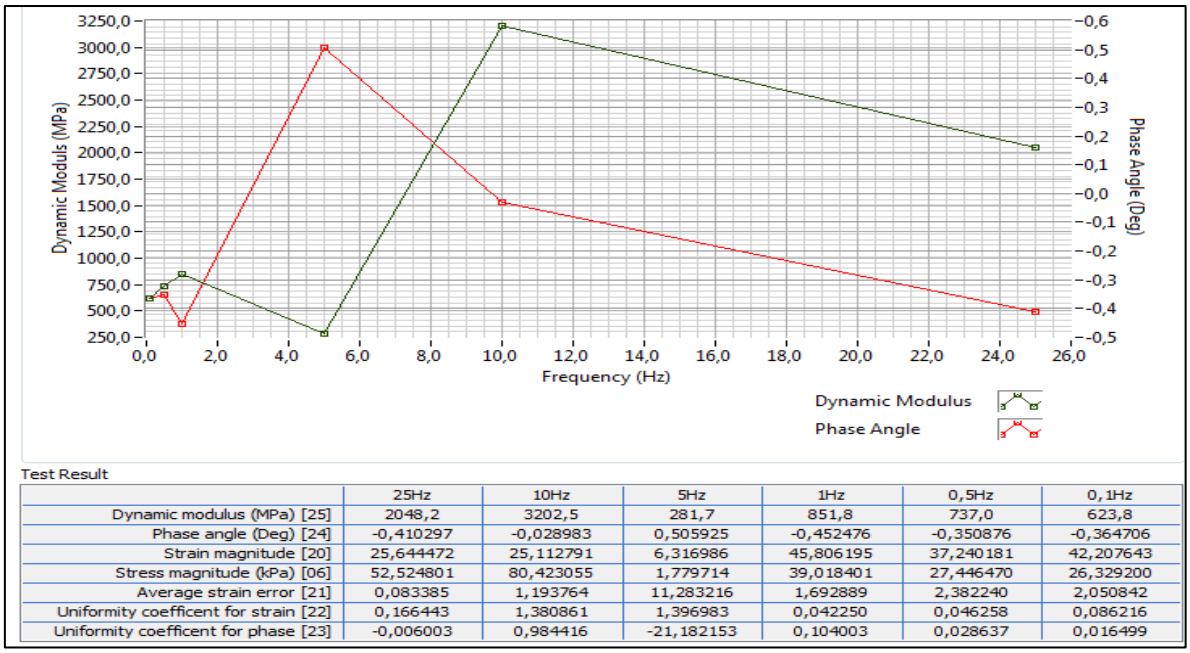
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	132,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2048,20	40
10	3202,50	40
5	281,70	40
1	851,80	40
0,5	737,00	40
0,1	623,80	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2048,2	3202,5	281,7	851,8	737,0	623,8
Phase angle (Deg) [24]	-0,410297	-0,028983	0,505925	-0,452476	-0,350876	-0,364706
Strain magnitude [20]	25,644472	25,112791	6,316986	45,806195	37,240181	42,207643
Stress magnitude (kPa) [06]	52,524801	80,423055	1,779714	39,018401	27,446470	26,329200
Average strain error [21]	0,083385	1,193764	11,283216	1,692889	2,382240	2,050842
Uniformity coefficent for strain [22]	0,166443	1,380861	1,396983	0,042250	0,046258	0,086216
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,006003	0,984416	-21,182153	0,104003	0,028637	0,016499

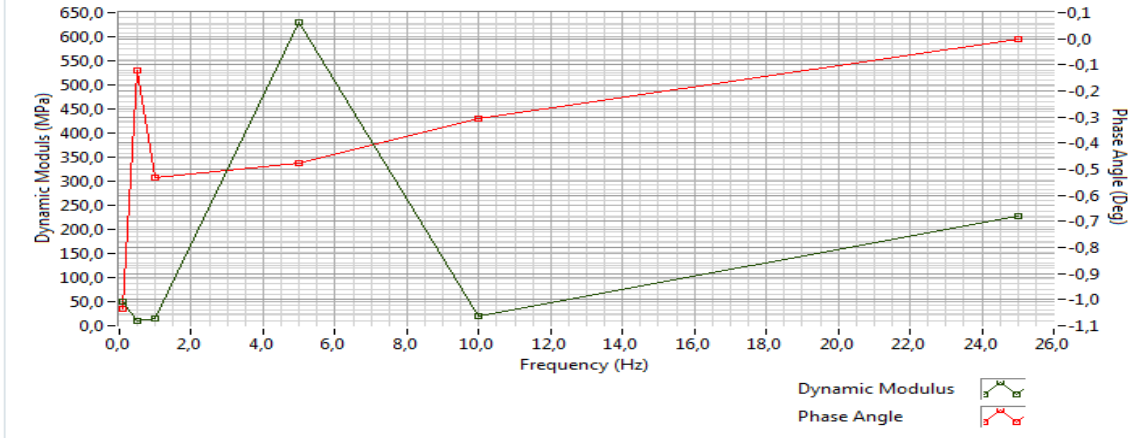
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	227,60	40
10	18,90	40
5	630,70	40
1	14,50	40
0,5	11,00	40
0,1	49,70	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	227,6	18,9	630,7	14,5	11,0	49,7
Phase angle (Deg) [24]	0,000332	-0,304251	-0,475865	-0,533902	-0,120167	-1,035552
Strain magnitude [20]	2,585150	16,087847	40,628065	4,385450	3,830314	9,021557
Stress magnitude (kPa) [06]	0,588374	0,304510	25,624474	0,063685	0,041983	0,448665
Average strain error [21]	4,520956	4,724557	3,177880	4,097547	3,948253	3,352681
Uniformity coefficent for strain [22]	0,248999	0,248088	0,112244	0,157146	0,220325	0,286046
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,018227	-0,003324	0,000476	-0,008023	-0,060820	-0,039957

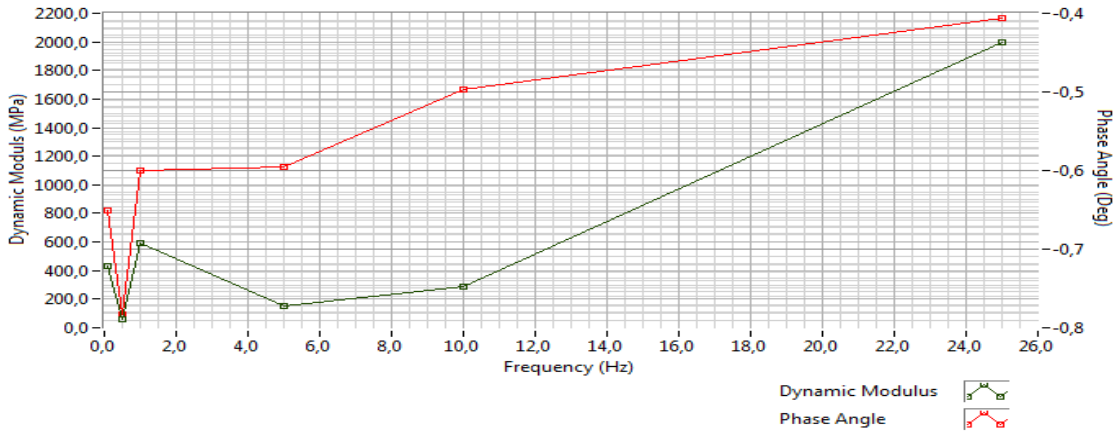
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	141,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2000,20	40
10	290,90	40
5	155,70	40
1	594,30	40
0,5	55,70	40
0,1	432,60	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2000,2	290,9	155,7	594,3	55,7	432,6
Phase angle (Deg) [24]	-0,406124	-0,496190	-0,595026	-0,599492	-0,783025	-0,650151
Strain magnitude [20]	25,417040	1,958999	2,090357	10,159538	6,257831	66,535467
Stress magnitude (kPa) [06]	50,839267	0,569933	0,325448	6,038274	0,348599	28,781920
Average strain error [21]	0,090057	5,036179	5,004495	3,405507	3,648248	1,958282
Uniformity coefficent for strain [22]	0,346087	0,171835	0,030636	0,043556	0,017131	0,000252
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,088416	-0,006528	-0,012198	0,041559	-0,014333	0,057673

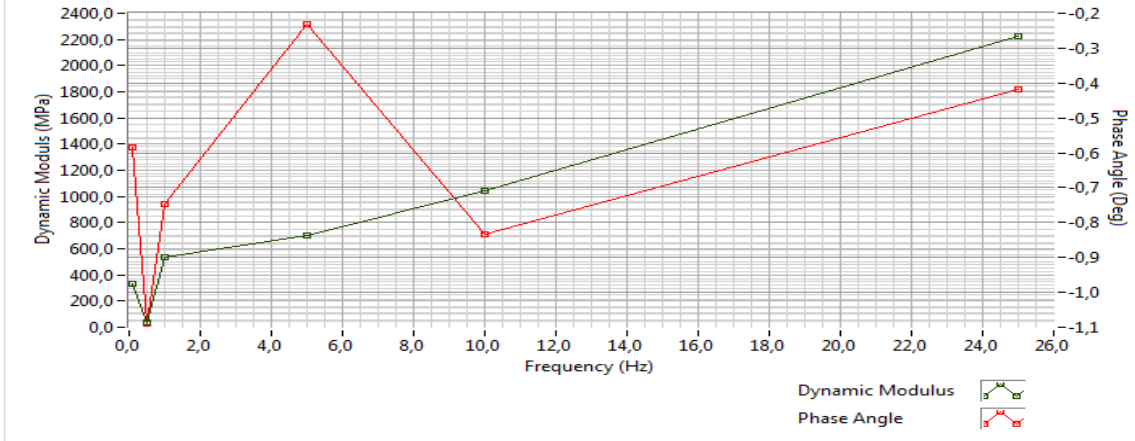
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2224,20	40
10	1039,10	40
5	703,00	40
1	538,70	40
0,5	39,20	40
0,1	336,90	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2224,2	1039,1	703,0	538,7	39,2	336,9
Phase angle (Deg) [24]	-0,417180	-0,833502	-0,231860	-0,745924	-1,089572	-0,585549
Strain magnitude [20]	25,529220	214,087899	4,105494	30,718668	8,820998	47,749640
Stress magnitude (kPa) [06]	56,783139	222,465069	2,886268	16,547805	0,345915	16,084790
Average strain error [21]	0,088377	1,554893	3,366100	3,422786	3,745214	2,352834
Uniformity coefficent for strain [22]	0,024173	0,200884	0,136404	0,157311	0,146512	0,106948
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,145653	-0,202934	0,231255	0,051061	-0,013472	0,033592

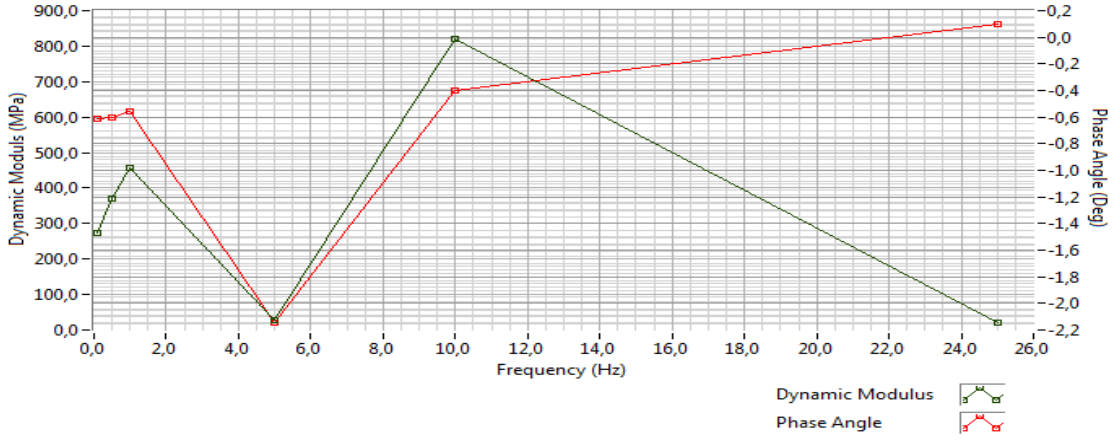
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	21,00	40
10	819,10	40
5	26,10	40
1	456,60	40
0,5	370,80	40
0,1	272,40	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	21,0	819,1	26,1	456,6	370,8	272,4
Phase angle (Deg) [24]	0,096254	-0,404346	-2,146219	-0,556137	-0,604334	-0,611433
Strain magnitude [20]	6,801949	54,662918	3,723420	63,181645	90,633856	54,866794
Stress magnitude (kPa) [06]	0,142648	44,771854	0,097319	28,847863	33,604310	14,943368
Average strain error [21]	4,325866	2,192306	4,353879	2,206239	2,516279	2,313497
Uniformity coefficent for strain [22]	0,225440	0,238278	0,147058	0,195545	0,172579	0,134203
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,022616	0,211833	-0,023839	0,059050	0,057062	0,020484

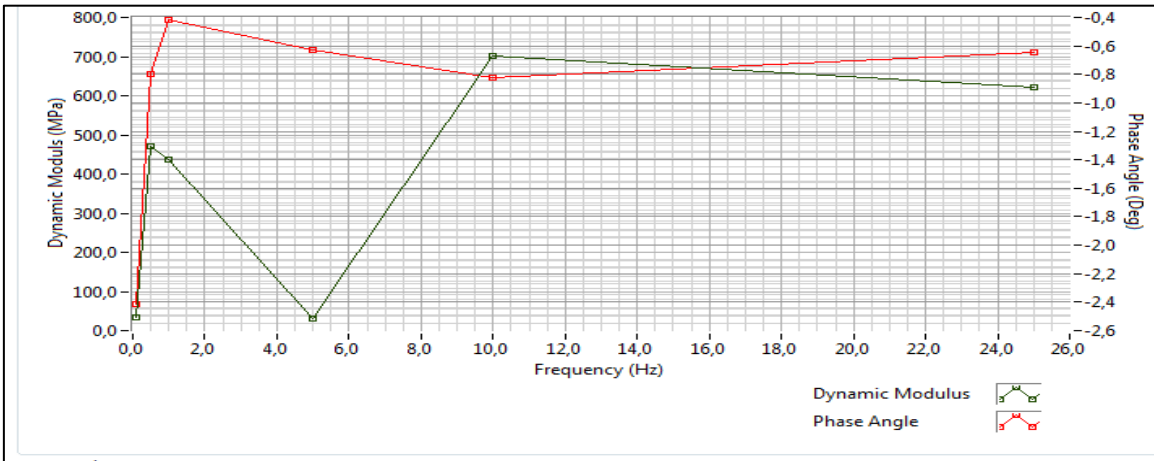
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	620,80	40
10	702,50	40
5	29,60	40
1	437,60	40
0,5	471,10	40
0,1	32,70	40

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	620,8	702,5	29,6	437,6	471,1	32,7
Phase angle (Deg) [24]	-0,645751	-0,822385	-0,632367	-0,415661	-0,797216	-2,417292
Strain magnitude [20]	9,978017	40,371974	7,924008	63,387835	161,608813	2,139416
Stress magnitude (kPa) [06]	6,194564	28,362282	0,234472	27,737168	76,135276	0,069899
Average strain error [21]	3,463723	2,977765	4,819565	2,516446	3,151928	4,373387
Uniformity coefficent for strain [22]	0,288220	0,142530	0,066442	0,077396	0,099428	0,006126
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,005847	-0,075591	-0,005383	0,019463	0,095917	-0,040172

2.2.5 Temperatura 50 °C

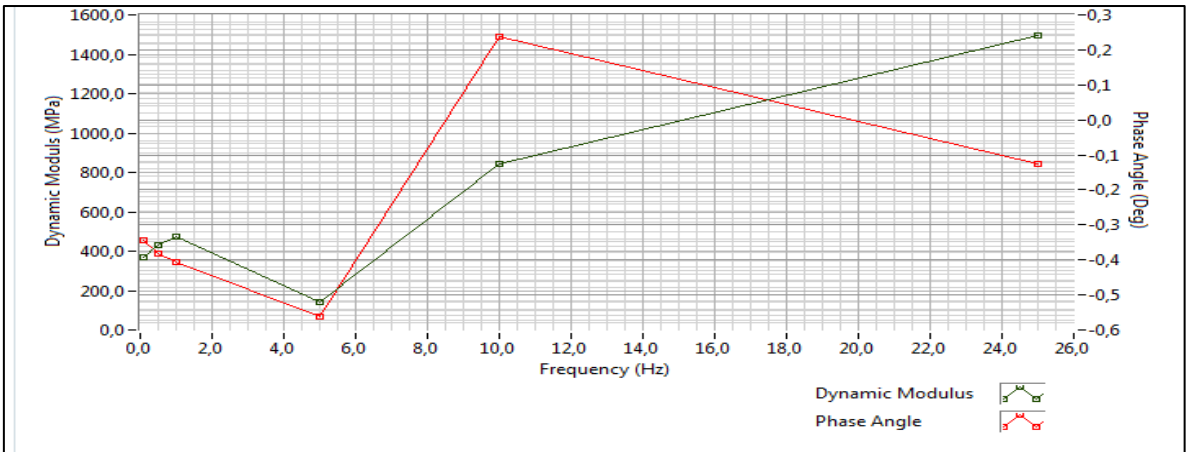
ID MUESTRA:	B1
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	132,00	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	1495,50	50
10	841,10	50
5	141,40	50
1	472,60	50
0,5	431,20	50
0,1	372,30	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	1495,5	841,1	141,4	472,6	431,2	372,3
Phase angle (Deg) [24]	-0,127342	0,237958	-0,562840	-0,406091	-0,382790	-0,342771
Strain magnitude [20]	22,310922	0,802954	22,113837	54,280882	36,835337	45,380927
Stress magnitude (kPa) [06]	33,367081	0,675358	3,126133	25,651676	15,885234	16,895638
Average strain error [21]	2,980469	10,219653	3,444608	1,903417	2,692385	1,983822
Uniformity coefficent for strain [22]	0,283626	0,304749	0,225396	0,236925	0,212906	0,211299
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,097283	-0,024757	-0,019332	0,005005	0,007546	0,010300

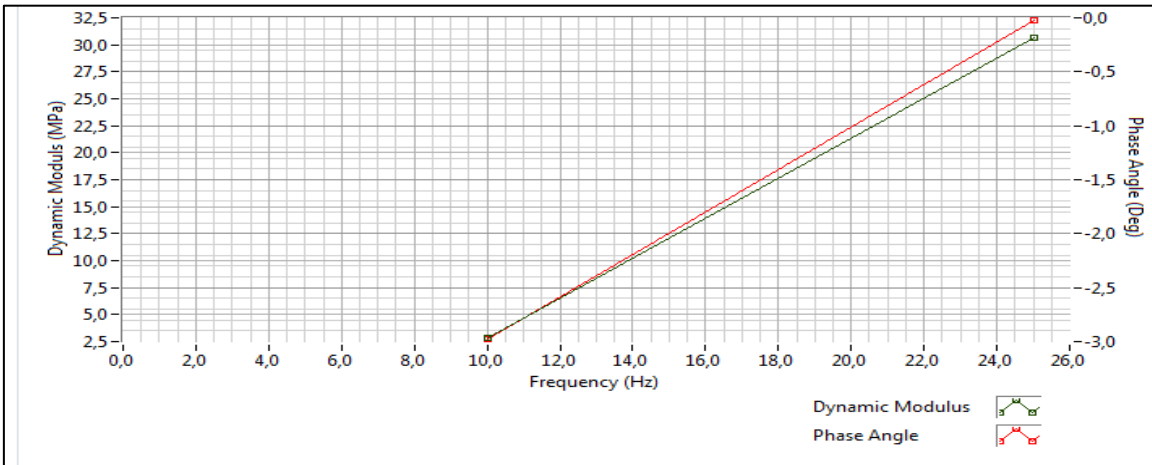
ID MUESTRA:	B2
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	30,60	50
10	30,60	50
5	2,80	50
1	2,80	50
0,5	0,00	50
0,1	0,00	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	25Hz	10Hz	10Hz	5Hz	0Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	30,6	30,6	2,8	2,8	NaN	NaN
Phase angle (Deg) [24]	-0,026210	-0,026210	-2,981554	-2,981554	NaN	NaN
Strain magnitude [20]	11,162433	11,162433	18,841146	18,841146	NaN	NaN
Stress magnitude (kPa) [06]	0,341319	0,341319	0,052755	0,052755	NaN	NaN
Average strain error [21]	4,454825	4,454825	4,530640	4,530640	NaN	NaN
Uniformity coefficent for strain [22]	0,100185	0,100185	0,771683	0,771683	NaN	NaN
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,000339	-0,000339	-0,012260	-0,012260	NaN	NaN

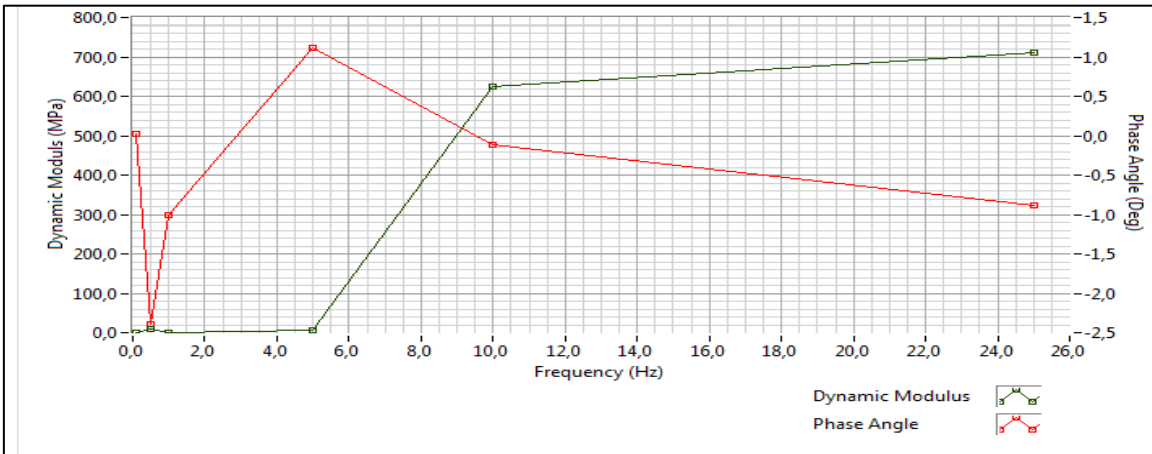
ID MUESTRA:	B3
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	141,30	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	709,90	50
10	624,10	50
5	6,80	50
1	1,10	50
0,5	9,20	50
0,1	1,40	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	709,9	624,1	6,8	1,1	9,2	1,4
Phase angle (Deg) [24]	-0,880644	-0,110044	1,122757	-1,009522	-2,396053	0,030049
Strain magnitude [20]	275,349096	79,068188	6,956134	26,705094	6,743060	63,008312
Stress magnitude (kPa) [06]	195,480743	49,345813	0,047539	0,029169	0,061867	0,089504
Average strain error [21]	1,951099	5,827131	7,146244	4,787787	6,537820	12,905749
Uniformity coefficent for strain [22]	0,028173	0,098668	1,386145	1,399909	1,378770	1,412711
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,019572	0,025778	-37,409678	-16,337667	-0,503413	-0,829787

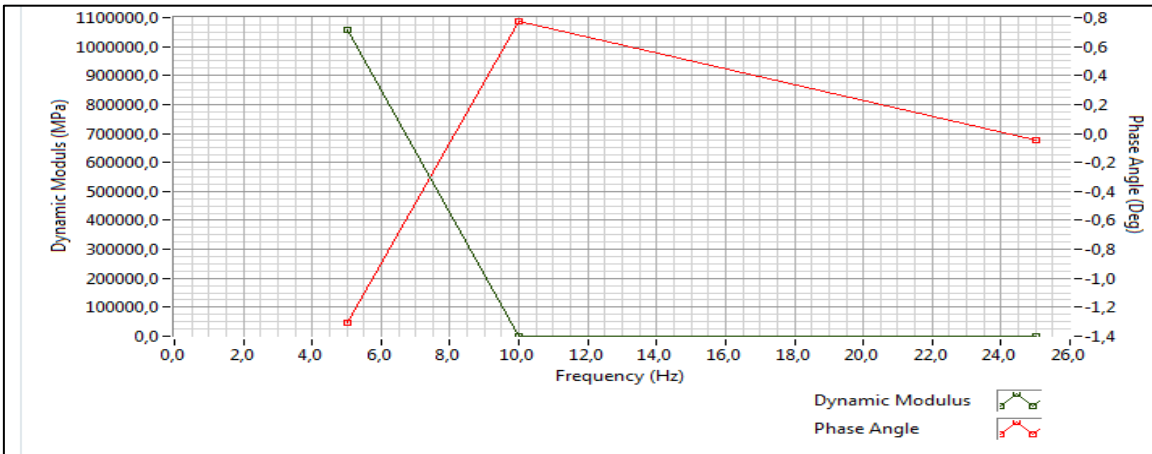
ID MUESTRA:	B4
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,00	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	147,20	50
10	147,20	50
5	53,60	50
1	53,60	50
0,5	1056376,00	50
0,1	0,00	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	25Hz	10Hz	10Hz	5Hz	0Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	147,2	147,2	53,6	53,6	1056376,0	NaN
Phase angle (Deg) [24]	-0,048187	-0,048187	0,776248	0,776248	-1,305529	NaN
Strain magnitude [20]	18,784468	18,784468	1,519131	1,519131	0,324300	NaN
Stress magnitude (kPa) [06]	2,765333	2,765333	0,081402	0,081402	342,583230	NaN
Average strain error [21]	4,674706	4,674706	19,153110	19,153110	4,901318	NaN
Uniformity coefficent for strain [22]	0,493632	0,493632	1,369515	1,369515	0,417010	NaN
Uniformity coefficent for phase [23]	0,025564	0,025564	-1,269425	-1,269425	-4,703050	NaN

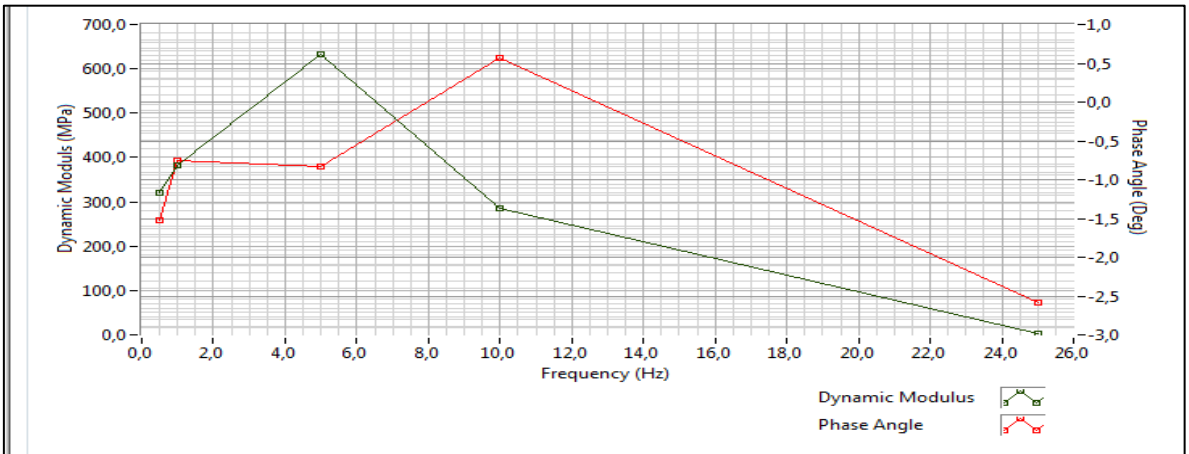
ID MUESTRA:	B5
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,10	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	134,50	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	2,60	50
10	285,80	50
5	633,50	50
1	382,90	50
0,5	319,60	50
0,1	0,00	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	2,6	285,8	633,5	382,9	319,6	NaN
Phase angle (Deg) [24]	-2,585909	0,564035	-0,823812	-0,749001	-1,522168	NaN
Strain magnitude [20]	9,876183	7,489704	110,501469	51,073944	333,925178	NaN
Stress magnitude (kPa) [06]	0,025319	2,140749	70,001481	19,557084	106,728585	NaN
Average strain error [21]	4,506335	8,714788	4,334807	4,002070	3,540907	NaN
Uniformity coefficent for strain [22]	0,107073	0,087669	0,963326	0,814751	0,954296	NaN
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,008051	0,017392	1,267004	0,388646	-19,664717	NaN

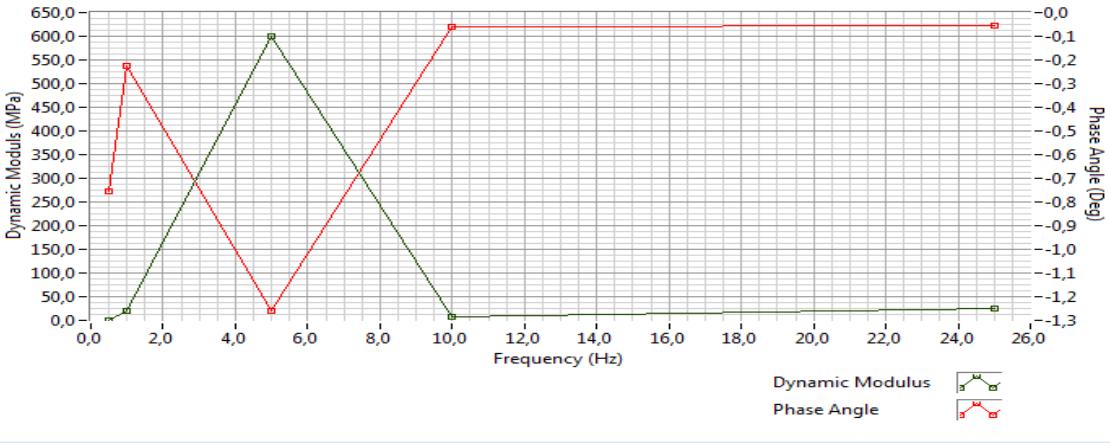
ID MUESTRA:	B6
ORIGEN MUESTRA:	BITUMIX
CONDICIÓN MUESTRA:	BRIQUETAS MOLDEADAS PARA MODULO DINAMICO

D	100,20	*Diámetro promedio del espécimen [mm]*
h	135,80	*Longitud de LVDT [mm]*

Valores promedios de módulos en cada ciclo

Frecuencia [Hz]	Módulo Dinámico [Mpa]	Temperatura [°C]
25	24,10	50
10	7,80	50
5	600,90	50
1	19,70	50
0,5	0,20	50
0,1	0,00	50

INFORMACION GRAFICA DEL ENSAYO



Test Result

	25Hz	10Hz	5Hz	1Hz	0,5Hz	0,1Hz
Dynamic modulus (MPa) [25]	24,1	7,8	600,9	19,7	0,2	NaN
Phase angle (Deg) [24]	-0,056114	-0,058092	-1,258772	-0,224988	-0,753498	NaN
Strain magnitude [20]	4,131828	8,882135	193,769106	20,883536	119,853410	NaN
Stress magnitude (kPa) [06]	0,099477	0,068892	116,428977	0,410421	0,026423	NaN
Average strain error [21]	4,423624	4,472702	6,169135	4,393681	4,501362	NaN
Uniformity coefficent for strain [22]	0,031101	0,065966	0,736919	0,789291	1,225505	NaN
Uniformity coefficent for phase [23]	-0,030177	-0,006431	-0,056279	-0,009849	-0,001507	NaN