

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“CONTROL DE CALIDAD A CEMENTOS ASFÁLTICOS  
PRODUCIDOS EN LA REFINERÍA DE ESMERALDAS DURANTE  
EL 2018”

**AUTORES:**

Pinargote Mendiburo, Karol Andrea  
Ramos Luna, Karem Patricia

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL**

**TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.

**Guayaquil, Ecuador**

**12 de marzo del 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Karol Andrea Pinargote Mendiburo y Karem Patricia Ramos Luna**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR (A)**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**

**Guayaquil, a los 12 del mes de marzo del año 2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotras, **Pinargote Mendiburo Karol Andrea y Ramos Luna Karem Patricia**

**DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, “CONTROL DE CALIDAD A CEMENTOS ASFÁLTICOS PRODUCIDOS EN LA REFINERÍA DE ESMERALDAS DURANTE EL 2018” previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 12 del mes de marzo del año 2019**

**LA AUTORA**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

f. \_\_\_\_\_

**Pinargote Mendiburo Karol Andrea**

**Ramos Luna Karem Patricia**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotras, **Pinargote Mendiburo Karol Andrea y Ramos Luna Karem Patricia**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, "CONTROL DE CALIDAD A CEMENTOS ASFÁLTICOS PRODUCIDOS EN LA REFINERÍA DE ESMERALDAS DURANTE EL 2018", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 12 del mes de marzo del año 2019**

**LA AUTORA**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

f. \_\_\_\_\_

**Pinargote Mendiburo Karol Andrea**

**Ramos Luna Karem Patricia**

## Urkund Analysis Result

Analysed Document: Titulación Karol Pinargote y Karem Ramos.docx (D48145418)  
Submitted: 2/20/2019 9:50:00 PM  
Submitted By: rebeca.gonzalez@cu.ucsg.edu.ec  
Significance: 3 %

### Sources included in the report:

TESIS - URETA Y MÁRQUEZ.docx (D35654466)  
EVALUACION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE ASFALTO DE LA REFINERIA ESMERALDAS  
MODIFICADO CON POLVO DE NEUMATICOS RECICLADOS.pdf (D40485483)  
CARACTERIZACION REOLOGICA AVANZADA DE ASFALTOS..docx (D26003928)  
12582-Gomez Quispe, Clever.pdf (D40567013)  
PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACION 2019 Dr. Vila (final).pdf (D47620904)  
Articulo-UTE.docx (D40317647)  
TESIS VIASPGuerreroVPazmiño.docx (D25683061)  
Curvas Maestras.docx (D11215712)  
<http://trid.trb.org/view.aspx?id=574873>

### Instances where selected sources appear:

55

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Jehová porque sin Él nada de esto hubiera sido posible, por ser mi fuente de fuerza, amor y dedicación. Por estar presente siempre en mis oraciones y guiándome en cada paso de mi vida.

Al Ing. Borys Pinargote, padre y maestro de profesión y de vida; introdujo por mí el interés en la ingeniería y gracias a sus valiosos comentarios y dirección.

A mi familia, siendo un ejemplo de superación y motivación para alcanzar grandes sueños, principalmente a mi mamá Maritza y mi ñaña Karen, que con mucho amor, dedicación y constancia me han guiado a lo largo de toda mi carrera profesional.

Para mi esposo, Danny, por su amor, apoyo y ayuda en todo momento.

A mi compañera Karem Ramos, por su actitud positiva, esfuerzo, entusiasmo, constancia, y más allá del trabajo en equipo, por una amistad sincera que se ha estado desarrollando por 5 años desde que empezamos juntas la carrera.

Al PhD. Ing. Rolando Vila, por ser un guía incondicional, especialmente por la oportunidad y confianza que me dieron para realizar este trabajo. Además, al Ing. José Jaramillo y al Ing. Walter Mera por su tiempo y ayuda en la elaboración de esta investigación.

**Karol Andrea Pinargote Mendiburo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios y a mi madre la Virgen María por guiar mi camino al servicio de los demás al estudiar Ingeniería Civil, sus tiempos son perfectos y sin ellos no hubiera logrado absolutamente nada.

A mis padres Wilson y Patricia que hicieron el esfuerzo desde un inicio por mi educación, su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria con un amor sin medida que era el pilar que me sostenía cada día para seguir adelante. A mis familiares, que estuvieron conmigo celebrando mis logros y apoyándome en las dificultades desde el inicio de mi vida estudiantil.

A mis hermanos, especialmente a Melissa, por apoyarme cuando más ajetreada estaba con mis proyectos brindándome su ayuda desinteresadamente y con amor.

A mis compañeros universitarios que se convirtieron en mi familia a lo largo de estos 5 años, en especial a Karol Pinargote y a Nicole Gallo por ser parte de mi vida desde el comienzo de esta aventura llamada Universidad.

A mi tutor de tesis, PhD.Ing. Rolando Vila por abrirnos las puertas del laboratorio de Carreteras y dedicar su tiempo a compartir sus experiencias y conocimientos para poder realizar un buen trabajo de titulación.

Al Ing. José Jaramillo y al Ing. Walter Mera por su apoyo y guía desde el primer día en el Laboratorio de Carreteras.

**Karem Patricia Ramos Luna**

## **DEDICATORIA**

Le dedico este logro a mis padres, con mucho amor, que han sido un ejemplo vívido de la superación personal; a mi abuelito Aquiles Mendiburo que fue un ingeniero en práctica y a mi amado esposo.

**Karol Andrea Pinargote Mendiburo**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, este logro es para ustedes, gracias por todo lo que han hecho por mí, Dios me envió dos guías a mi vida que me han convertido en la mujer que soy ahora.

**Karem Patricia Ramos Luna**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Rolando Vila Romaní, PhD  
TUTOR**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.  
DIRECTORA DE CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Andrés Castro, MSc.  
COORDINADOR DEL ÁREA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Federico von Buchwald de Janon, MSc.  
OPONENTE**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Razones que motivaron el estudio .....	2
1.3. Justificación del tema.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Alcance .....	4
1.6. Metodología .....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
2.1. <b>Cemento asfáltico</b> .....	6
2.1.1. Definición.....	6
2.1.2. Propiedades químicas .....	6
2.1.3. Propiedades físicas .....	8
<b>3. DESARROLLO</b> .....	11
3.1. <b>Pruebas convencionales para la calificación de cemento asfáltico</b> . 11	
3.1.1. Ensayo de Viscosidad .....	11
3.1.2. Ensayo de Penetración .....	12
3.1.3. Punto de ablandamiento.....	13
3.1.4. Gravedad específica.....	14
3.1.5. Punto de inflamación .....	14
3.1.6. Envejecimiento en horno de película delgada (RTFO) .....	15
3.1.7. Cambio de masa .....	16
3.1.8. Ductilidad.....	17
3.2. <b>Clasificación por grado de desempeño (PG) según la tecnología Superpave</b> .....	18
3.2.1. Cámara de envejecimiento a presión (PAV).....	20
3.2.2. Reómetro de corte dinámico (DSR).....	20

3.2.3. Reómetro de viga a flexión (BBR) .....	22
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.1. Resultados de la clasificación por grado de viscosidad .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2. Resultados de la clasificación por grado de desempeño (PG) .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>27</b>
<b>5. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA ADICIONAL .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1. Introducción .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2. Marco teórico.....</b>	<b>28</b>
5.2.1. Curvas Maestras .....	28
5.2.1.1. Parámetros de la curva maestra .....	30
5.2.2. Diagrama de Black .....	31
5.2.3. Temperatura de Transición.....	31
5.2.4. Parámetro $\Delta T_c$ .....	32
<b>5.3. Desarrollo .....</b>	<b>32</b>
5.3.1. Configuración de Curvas Maestras .....	32
5.3.2. Configuración del Diagrama de Black .....	35
5.3.3. Configuración de temperatura de transición .....	35
5.3.4. Configuración del parámetro $\Delta T_c$ .....	35
<b>5.4. Análisis de resultados .....</b>	<b>36</b>
5.4.1. Resultados de Curvas maestras del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas en Ecuador .....	36
5.4.2. Resultados de diagramas de Black del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas en Ecuador .....	39
5.4.3. Resultados de la Temperatura de Transición .....	43
5.4.4. Resultados del parámetro $\Delta T_c$ .....	44
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>46</b>
6.1. Conclusiones .....	46
6.2. Recomendaciones .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema coloidal de Pfeiffer .....	7
Figura 2. Fraccionamiento de SARA.....	8
Figura 3. Ensayo de viscosidad .....	12
Figura 4. Ensayo de penetración .....	13
Figura 5. Ensayo de punto de ablandamiento .....	13
Figura 6. Ensayo de gravedad específica .....	14
Figura 7. Ensayo de punto de Inflamación.....	15
Figura 8. Ensayo de envejecimiento en horno de película delgada.....	16
Figura 9. Cambio de masa.....	16
Figura 10. Ensayo de ductilidad.....	17
Figura 11. Cámara de envejecimiento a presión.....	20
Figura 12. Reómetro de corte dinámico.....	21
Figura 13. Reómetro de viga flexión .....	23
Figura 14. Ejemplo de construcción de curva maestra a 20°C .....	29
Figura 15. Relación entre componente viscosa, componente elástica y ángulo de fase .....	30
Figura 16. Parámetros dinámicos de la curva maestra para asfaltos. ....	31
Figura 17. Curva Log s(t) vs Log tiempo reducido .....	34
Figura 18. Curvas Maestras mes de junio (RTFO y PAV) .....	36
Figura 19. Curvas Maestras residuos RTFO.....	37
Figura 20. Curvas Maestras residuos PAV .....	37
Figura 21. Diagrama de Black. Residuo RTFO. Mes de junio 2018.....	39
Figura 22. Diagrama de Black. Residuo PAV. Mes de junio 2018 .....	40
Figura 23. Diagrama de Black residuo RTFO y PAV mes de junio 2018 .....	40
Figura 24. Diagramas de Black de las muestras del residuo RTFO .....	41
Figura 25. Diagramas de Black de las muestras del residuo PAV .....	42
Figura 26. Gráfica del parámetro $\Delta T_c$ de las seis muestras de asfalto ecuatoriano .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación por viscosidad a 60°C. Especificación ASTM para cementos asfálticos .....	11
Tabla 2. Clasificación por grado de desempeño .....	19
Tabla 3. Clasificación por grado de desempeño (continuación).....	19
Tabla 4. Resultados de los ensayos de la clasificación por viscosidad .....	24
Tabla 5. Clasificación por grado de desempeño PG.....	25
Tabla 6. Rangos de temperaturas en el pavimento de acuerdo con la tecnología Superpave (a 2 cm de profundidad).....	26
Tabla 7. Ejemplo de hoja de cálculo para graficar curvas maestras .....	33
Tabla 8. Ejemplo de hoja de cálculo para graficar curvas maestras (continuación) .....	33
Tabla 9. Resultados de los parámetros de la curva maestra con residuo RTFO .....	38
Tabla 10. Resultados de los parámetros de la curva maestra con residuo PAV.....	39
Tabla 11. Resultados de la Temperatura de Transición residuo del RTFO .....	43
Tabla 12. Resultados de la Temperatura de Transición residuo del PAV.....	44
Tabla 13. Resultados del Parámetro $\Delta T_c$ .....	44

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la clasificación por viscosidad .....	52
Anexo 2. Resultados de la clasificación por Grado de Desempeño.....	58
Anexo 3. Resultados del programa Bohlin TruGrade del Equipo BBR .....	64
Anexo 4. Resultados del programa Bohlin TruGrade del Equipo DSR .....	78
Anexo 5. Resultado del programa Bohlin Software Integrated del equipo DSR	96
Anexo 6. Gráficas de Curvas Maestras .....	110
Anexo 7. Gráficas de diagramas de Black .....	113

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolló el control de calidad de seis muestras de cemento asfáltico obtenidas de la Refinería de Esmeraldas en el año 2018.

A las muestras se les realizó diversos ensayos de laboratorio, para su respectiva clasificación por grado de viscosidad (AC) y la clasificación por grado de desempeño (PG) basándonos en la tecnología Superpave de acuerdo a las normas correspondientes. Adicionalmente se realizaron ensayos y procedimientos de caracterización reológica avanzada, tales como: curvas maestras, diagramas de Black, parámetro  $\Delta T_c$  y temperatura de transición, que proporcionaron información para ampliar el estudio del comportamiento de los ligantes asfálticos en estado original, con envejecimiento primario (RTFOT) y envejecimiento secundario (PAV) en las carreteras durante su vida útil. Realizando de esta manera comparaciones, recomendaciones y conclusiones de los resultados obtenidos para actualizar la problemática que presenta el asfalto ecuatoriano y tener una pauta para futuras investigaciones y mejoras.

**Palabras Claves:** *Viscosidad, Superpave, reológico, asfalto, curva maestra, diagrama de Black,  $\Delta T_c$ , temperatura de transición.*

## ABSTRACT

In the present titulation work was developed the quality control of six samples of asphalt cement obtained of the Refinery of Esmeraldas in the year 2018.

The samples were subjected to various laboratory tests, for their respective classification by grade of viscosity (AC) and classification by grade of performance (PG) based on Superpave technology according to the corresponding standards. Additionally, tests and advanced rheological characterization procedures were carried out, such as: master curves, Black diagrams,  $\Delta T_c$  parameter and transition temperature, which provided information to expand the study of the behavior of asphalt binders in their original state, with primary aging (RTFOT) and secondary aging (PAV) on the roads during their useful life. Carrying out in this way comparisons, recommendations and conclusions of the results obtained to update the problems presented by the Ecuadorian asphalt and have a guideline for future research and improvements.

**Key words:** *Viscosity, Superpave, rheological asphalt, master curves, Back diagram,  $\Delta T_c$ , transition temperature*

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En trabajos precedentes que se han realizado en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG, uno de los cuales corresponde a tareas de un convenio con Petroecuador (2015-2016), se observa que nuestros asfaltos presentan un particular comportamiento ante el envejecimiento, y que incluso este problema no se ve bien reflejado en la tecnología Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) ya aceptada en el país. La tecnología Superpave fue un resultado del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP) en los EE. UU desarrollado entre 1987 y 1993, para mejorar el comportamiento y la durabilidad de las carreteras a partir de: un sistema de clasificación de los asfaltos por grado de desempeño (PG), tanto convencionales como mejorados, un método de diseño de mezclas asfálticas más acorde con la compactación en obra y la evaluación de mezclas mediante pruebas de desempeño.

En los últimos dos años también se han desarrollado algunos trabajos en el laboratorio con respecto al desempeño de los asfaltos ecuatorianos a la fatiga a temperaturas intermedias, los procedimientos se han actualizadas y se han empleado rejuvenecedores para mejorarlos (Vila, García , Jaramillo, & Troya, 2016).

### 1.2. Razones que motivaron el estudio

En Ecuador actualmente se realizan controles de calidad al cemento asfáltico proveniente de la Refinería de Esmeraldas en algunas empresas e instituciones, que indican la presencia de problemas de envejecimiento prematuro, lo que se detecta por el incumplimiento de las exigencias al residuo del RTFOT en la clasificación por viscosidad de cementos asfálticos vigente en el país.

En los controles realizados en los últimos años se han verificado los problemas de envejecimiento que posee el asfalto ecuatoriano, por esta razón se actualizó esta problemática con un control de calidad a seis muestras de cementos asfálticos tomadas directamente de los tanqueros al llegar a plantas asfálticas en los alrededores de Guayaquil durante el 2018.

### **1.3. Justificación del tema**

La constante investigación internacional sobre nuevos métodos de análisis, especificaciones para evaluar la calidad de los ligantes asfálticos y obtener una caracterización reológica avanzada han permitido ampliar sustancialmente los criterios de la clasificación PG del Superpave especialmente a temperaturas intermedias.

Algunos de estos nuevos criterios se emplearon para proporcionar mayor información sobre la calidad del asfalto ecuatoriano para lograr un mejor desempeño de los pavimentos asfálticos del país.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar a través de pruebas de clasificación por viscosidad y grado de desempeño (PG) según la tecnología Superpave, así como pruebas y procedimientos adicionales como: curvas maestras, diagramas de Black, temperatura de transición y adicionalmente el parámetro  $\Delta T_c$ ; la calidad del cemento asfáltico producido en la Refinería de Esmeraldas a lo largo de todo el año 2018, tomado directamente de los tanqueros al llegar a plantas asfálticas en los alrededores de Guayaquil.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Clasificar los cementos asfálticos según los procedimientos por grado de viscosidad y grado de desempeño (Superpave).

- Realizar pruebas de caracterización reológica avanzada como curvas maestras, diagramas de Black,  $\Delta T_c$  y temperatura de transición, para un mejor análisis del comportamiento reológico de las muestras de cemento asfáltico.
- Comparar los resultados obtenidos de las pruebas para llegar a conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### **1.5. Alcance**

Se estudiaron seis muestras de asfaltos provenientes de la Refinería de Esmeraldas correspondiente a los meses de: febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre, del año 2018.

Se comprobaron los requerimientos de calidad para cementos asfálticos establecidos en la NTE INEN 2515 y NTE INEN 3030, así como en otras pruebas de caracterización avanzada, ya mencionadas. La información obtenida de los resultados de los diversos ensayos permitió realizar comparaciones y recomendaciones para actualizar la información acerca de la calidad de los cementos asfálticos en el Ecuador.

### **1.6. Metodología**

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental y se realizó mediante la clasificación por viscosidad y por grado de desempeño de seis muestras de cemento asfáltico proveniente de la Refinería de Esmeraldas.

La investigación está compuesta de 3 etapas fundamentales correspondientes a:

#### **1. Fundamentos Teóricos**

- Estudio bibliográfico sobre la temática.
- Estudio de los procedimientos de la clasificación por Viscosidad y PG (Superpave).

## **2. Desarrollo experimental**

- Ejecución de los ensayos establecidos para la clasificación por Viscosidad y PG a las muestras asfálticas.
- Desarrollo de pruebas de caracterización avanzada como diagramas de Black, curvas maestras,  $\Delta T_c$  y temperatura de transición.

## **3. Análisis de resultados**

- Evaluación y comparación de los resultados de los diversos ensayos.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Cemento asfáltico

##### 2.1.1. Definición

El cemento asfáltico es un material bituminoso de color negro de naturaleza hidrocarbonada que contiene propiedades adhesivas, aglomerantes e impermeables, siendo también capaz de soportar ácidos, sales y álcalis. El asfalto es catalogado como un material visco-elástico porque muestra características más o menos viscosas y elásticas en función a la temperatura de trabajo y la frecuencia a la que se somete, quiere decir que el asfalto puede tener una conducta intermedia entre el sólido de Hooke (elástico) y el líquido de Newton (viscoso) (Cardenas & Fonseca, 2009).

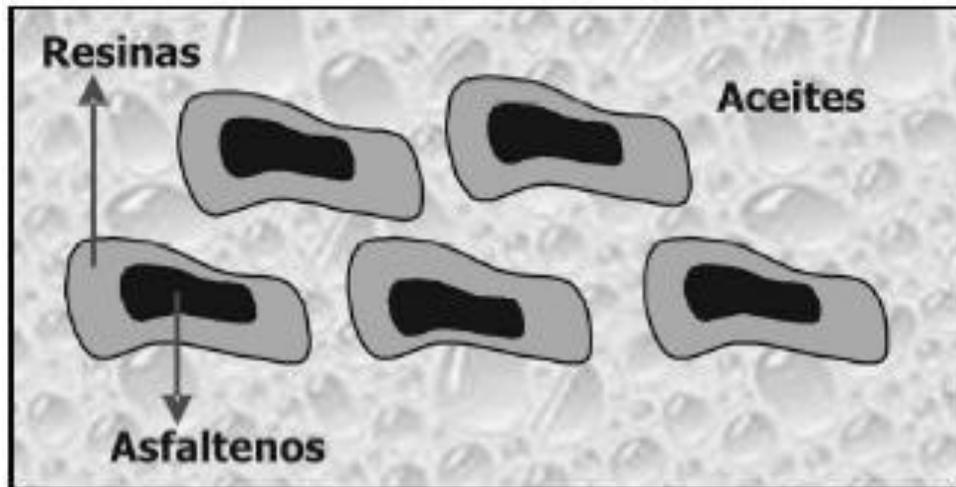
El ligante asfáltico puede provenir de fuentes naturales, como depósitos en lagos, rocas y arenas asfálticas, o de los derivados de la destilación del petróleo crudo en refinerías, en forma natural o industrial, en el que son bombeados, transportados y almacenados en amplios tanques e impuestos a elevadas temperaturas donde los materiales más volátiles serán desalojados, y el residuo debidamente tratado será empleado como cemento asfáltico (Vila Romani, 2018).

##### 2.1.2. Propiedades químicas

El asfalto contiene un sin número de moléculas complejas de las cuales la que presenta un mayor porcentaje es el carbono, seguido del hidrogeno, después el oxígeno y sulfuros, y en pequeñas cantidades el nitrógeno y otros metales.

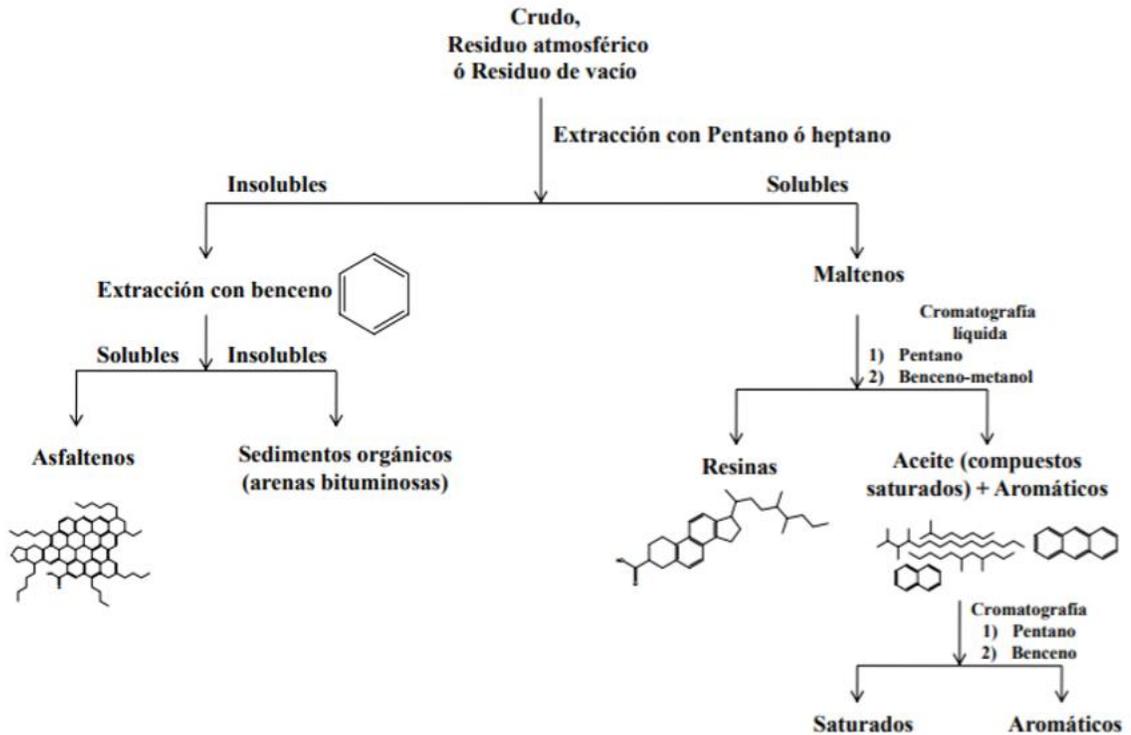
La estructura molecular del asfalto de acuerdo al modelo micelar (ver Figura 1), se divide en dos partes: los asfaltenos y los maltenos. Estos últimos a su vez se subdividen en resinas y aceites. Los asfaltenos son partículas bituminosas sólidas de alta viscosidad que son las encargadas de dar elasticidad, resistencia

y adhesión. Las resinas son semisólidas o sólidas en temperatura ambiente, fluyen cuando están a temperaturas altas y se vuelven frágiles cuando se encuentran ante temperaturas bajas, son las que proveen ductilidad. Los aceites son líquidos incoloros, son solubles en la mayoría de los solventes y aumentan la fluidez (Vila Romani, 2018).



**Figura 1. Esquema coloidal de Pfeiffer**  
**Fuente:** Tecnología del cemento asfáltico (Anderson , 2016)

El fraccionamiento del asfalto se emplea con la finalidad de conocer la estructura química de los asfaltos. Algunos investigadores han desarrollado técnicas analíticas para la obtención de estas fracciones, como es el caso de la prueba SARA que utiliza cromatografía líquida en columna con alúmina CG-20 como fase estacionaria. El fraccionamiento SARA (ver Figura 2) se fundamenta en la separación de los asfaltenos y maltenos con el empleo de n-heptano y después el fraccionamiento de maltenos en resinas y aceites (aromáticos y saturados). De esta forma se determinan las fracciones típicas de los materiales asfálticos: saturados(S), aromáticos(A), resinas(R) y asfaltenos(A) (Marquez & Ureta, 2018).



**Figura 2. Fraccionamiento de SARA**

**Fuente:** Cemento asfálticos. Generalidades. Caracterización química, física y reológica (Rolando Vila, 2018)

### 2.1.3. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del cemento asfáltico resultan de suma importancia por su relación con las carreteras, por ello aquellas propiedades son: comportamiento reológico, adhesión y envejecimiento (Universidad Sonora Mexico, s.f.).

#### Comportamiento reológico

En general, el comportamiento del cemento asfáltico dependerá de la temperatura y del tiempo de carga. Ante altas temperaturas y/o altos tiempos de carga, es decir con camiones a baja velocidad, el asfalto actuará como un líquido viscoso y fluirá. Se define como viscosidad a la resistencia que tienen las moléculas que conforman el fluido correspondiente a las deformaciones graduales producidas por fuerzas cortantes.

Cuando se encuentran en presencia de bajas temperaturas y/o bajos tiempos de carga, por ejemplo, camiones a alta velocidad, se comportará como un sólido elástico. Se explica la palabra elástico al proceso en donde al cargar el elemento

se deforma y al quitar la carga éste retorna a su forma original. Es decir, que su deformación elástica se recupera al cien por ciento.

### **Adhesión**

La adhesión en el cemento asfáltico se lo cataloga como la propiedad que admite adherirse o ligarse a las partículas de los agregados en la preparación de las mezclas asfálticas. Las propiedades del ligante de asfalto que pueden influir en la unión con el agregado son la química del asfalto, viscosidad, espesor de capa y la energía superficial (Bahía, Anderson, 2007).

La fuerza cohesiva de la matriz del asfalto puede ser influenciada por la presencia de humedad y por la naturaleza química del ligante y las técnicas de construcción (Moraes, Velasquez, & Bahia, 2011). La interacción química entre el asfalto y el agregado es crítica para el entendimiento de la capacidad de las mezclas bituminosas de resistir los daños por humedad (Robertson, 1991). Sobre todo, los asfaltos envejecidos tienden a recibir mayor daño por parte de la humedad debido al material ácido del ligante oxidado.

El nitrógeno presente en el asfalto favorece la adhesión con los agregados, y los grupos funcionales controlan sus propiedades ya que determinan la estabilidad de permanecer unidas las superficies para formar una red, con capacidad de resistir tensiones y esfuerzos (Gamba González & Mercado Ortega, 2004).

Sin embargo, se debe de tener presente que no todo depende del asfalto, sino, también del estado o tipo de agregado que se empleará, en los cuales se debe ver la limpieza y contenido de humedad, temperatura del mezclado, textura, etc.

### **Envejecimiento**

El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos altera las propiedades fisicoquímicas de este material y por ende la durabilidad de los pavimentos asfálticos, ocasionando pérdidas económicas debido a deterioros prematuros de las carpetas asfálticas (Vargas & Reyes, 2010).

El ligante asfáltico que formará parte de una mezcla para pavimentación está sometido a distintos procesos de envejecimiento:

Primero: se produce durante la transportación en taqueros y el almacenamiento de los mismos en la planta asfáltica, donde el factor principal es la temperatura.

Segundo: durante la fabricación de la mezcla bituminosa en caliente, donde el ligante estará sometido a altas temperaturas en presencia del oxígeno atmosférico.

Tercero: durante el periodo de servicio, donde está expuesto a los agentes ambientales como la radiación solar, el oxígeno, el agua, variaciones de temperatura, etc., y a contaminaciones por los lubricantes y carburantes que arrojan los vehículos.

Los mecanismos de envejecimiento pudieran resumirse en:

- Pérdida de volátiles: El asfalto se rigidiza al perder volátiles y lo hacen mediante la exposición a la atmosfera y a altas temperaturas.
- Formación de sulfóxidos: Los sulfóxidos se forman durante el mezclado en plantas de alta temperatura, haciendo que el asfalto aumente su rigidez.
- Oxidación: Se produce una oxidación de la constitución de las moléculas del asfalto, lo cual produce el incremento en la polaridad de la mezcla y, por ende, una reducción en la parte de los aromáticos originada por la separación de los anillos en el proceso de la oxidación. El asfalto al estar propenso a endurecerse, este va de la mano por una subida de los conjuntos de los asfáltenos.
- Acción de rayos ultravioletas: rompe los lazos químicos del asfalto.
- Acción de microorganismo: digieren los compuestos.
- Acción del agua: rompe mecánicamente la estructura química del cemento asfáltico.

El efecto del envejecimiento en el asfalto es un incremento en la fragilidad y una reducción de su flexibilidad (Vila Romaní, 2018).

### 3. DESARROLLO

#### 3.1. Pruebas convencionales para la calificación de cemento asfáltico

##### 3.1.1. Ensayo de Viscosidad

Es conocido que la viscosidad es un parámetro que mide la resistencia del líquido a fluir. En la normativa de clasificación vigente por viscosidad el control se realiza mediante dos procedimientos. Un primer ensayo permite evaluar el comportamiento del asfalto a una temperatura de 60°C de acuerdo a la norma ASTM D2171 (como se muestra en la Tabla 1), en la que se asemeja el comportamiento del pavimento asfáltico de una vía en climas de alta temperatura. Por otra parte, la temperatura a 135°C se ensaya de acuerdo a la norma ASTM D2170 y ésta en cambio asemeja el comportamiento del cemento asfáltico durante el bombeo, manipulación y puesta en obra.

**Tabla 1. Clasificación por viscosidad a 60°C. Especificación ASTM para cementos asfálticos**

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, <sup>C</sup>	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración <sup>B</sup>		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad <sup>A</sup> , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
<sup>A</sup> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min.												

**Fuente:** Standard Specification for Viscosity-Graded Asphalt Cement for Use in Pavement Construction<sup>1</sup>, 2012

El Laboratorio de Carretera de la UCSG está equipado con un viscosímetro Brookfield (ver Figura 3), que permite realizar el ensayo de viscosidad de una

manera más ágil y práctica, cuyo procedimiento de acuerdo a la norma ASTM D4402 consiste en colocar una muestra de asfalto de  $10\pm 5$  gramos en un vástago cilíndrico que será ensayado en el viscosímetro Brookfield seleccionando la temperatura correspondiente al ensayo de  $60^{\circ}\text{C}$  o  $135^{\circ}\text{C}$  y los spindles No. 27 (asfalto original) y No. 28 (asfalto envejecido).

El viscosímetro Brookfield mide la viscosidad mediante un mecanismo de esfuerzo torsor con una velocidad constante aplicado al spindle que se encuentra sumergido en la muestra a ensayar.



**Figura 3. Ensayo de viscosidad**  
**Fuente: Autores**

### **3.1.2. Ensayo de Penetración**

Consiste en medir la longitud de una aguja normalizada al penetrar verticalmente la muestra bajo condiciones normadas de tiempo, temperatura y carga.

De acuerdo a la norma ASTM D5 el ensayo consiste en colocar una muestra de asfalto caliente en un molde ya definido a temperatura ambiente en un tiempo determinado y posteriormente llevarlo a un baño de agua a  $25^{\circ}\text{C}$  con ciertas especificaciones, para realizar el ensayo en el penetrómetro (ver Figura 4), en el que una aguja con una carga de 10 gramos penetra la muestra durante 5 segundos. La penetración se mide en decimas de milímetros y su resultado final corresponderá al promedio de 3 lecturas de ensayos sobre la misma muestra.



**Figura 4. Ensayo de penetración**  
**Fuente: Autores**

### **3.1.3. Punto de ablandamiento**

Se considera como una medida de la consistencia del asfalto a una temperatura determinada. Según la norma ASTM D36 el ensayo consiste en colocar asfalto caliente en un anillo de latón, dejarlo reposar durante un tiempo determinado y enrasarlo para luego ser sumergido en agua con una bola de peso y dimensiones estándares sobre la muestra preparada. Luego se coloca todo el conjunto de ensayo en un beaker estandarizado y se calienta aplicando un incremento de temperatura equivalente a 5°C por minuto (ver Figura 5).

La temperatura de punto de ablandamiento se determina en el instante en que la bola cae y toca la superficie de la placa del fondo del dispositivo metálico del ensayo.



**Figura 5. Ensayo de punto de ablandamiento**  
**Fuente: Autores**

#### **3.1.4. Gravedad específica**

Es la relación entre el peso de un volumen de material (asfalto) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura de 25°C.

El ensayo se realiza según la normativa ASTM D70, colocando la muestra en un picnómetro calibrado (ver Figura 6), ambos son pesados y se completa con agua el volumen remanente. El picnómetro lleno se coloca en un baño a una temperatura establecida y se determina su masa. La densidad de la muestra asfáltica se calcula considerando la masa del asfalto y la masa de agua desalojada por la muestra en el picnómetro lleno.

Los resultados obtenidos de este ensayo se utilizan para determinar los parámetros volumétricos de mezclas asfálticas.



**Figura 6. Ensayo de gravedad específica**  
**Fuente:** Autores

#### **3.1.5. Punto de inflamación**

Mediante este ensayo se determinan los puntos de ignición y de llama, empleando la llamada copa abierta de Cleveland (ver Figura 7). El ensayo consiste en llenar la copa con el asfalto a ensayar hasta un nivel específico, aplicar mediante llama o resistencia eléctrica un incremento de temperatura a la muestra y posteriormente acercar una llama sobre la superficie a intervalos de tiempo determinados hasta que se produzca la ignición de los vapores altamente inflamables generados por el asfalto a temperaturas elevadas.

La norma ASTM D92 nos indica que el ensayo de punto de inflamación permite controlar el riesgo de incendio cuando se realizan procesos a altas temperaturas para pavimento asfáltico.



**Figura 7. Ensayo de punto de Inflamación**  
Fuente: Autores

### **3.1.6. Envejecimiento en horno de película delgada (RTFO)**

Dicho envejecimiento se emplea para medir el efecto del calor y del aire sobre una lámina de asfalto en movimiento. Según la norma ASTM D2872 este proceso evalúa la susceptibilidad que tiene el asfalto al envejecimiento que ocurre ocasionalmente durante los procesos de mezclado, transporte y tendido en presencia de altas temperaturas.

El ensayo consiste en calentar una película de material asfáltico dentro de botellas normadas para el ensayo, las botellas se mantendrán en movimiento en un horno a 163° C (ver Figura 8) durante 85 minutos con la presencia de aire caliente con el fin de aparentar el envejecimiento de la muestra asfáltica.

Como resultado del ensayo RTFO se obtiene un residuo asfáltico que permite realizar ensayos adicionales para caracterizar las propiedades de los asfaltos envejecidos.



**Figura 8. Ensayo de envejecimiento en horno de película delgada**  
**Fuente:** Autores

### **3.1.7. Cambio de masa**

La definición del cambio de masa se emplea para evaluar el comportamiento que tiene el asfalto frente al endurecimiento o envejecimiento durante las operaciones de mezclado.

De acuerdo a la norma ASTM D 2872 el ensayo consiste en medir el cambio de masa al comparar la masa inicial con respecto a la final después del calentamiento en el horno RTFO (ver Figura 9), de tal manera que el resultado puede expresarse como ganancia (signo +) o pérdida (signo -) de masa.



**Figura 9. Cambio de masa**  
**Fuente:** Autores

### 3.1.8. Ductilidad

Este ensayo nos permite conocer la capacidad que tiene un material que bajo la acción de una fuerza es capaz de soportar grandes deformaciones sin perder su resistencia. El procedimiento de ensayo para evaluar la ductilidad del cemento asfáltico aparece en la norma ASTM D-113 y consiste en someter tres muestras de material asfáltico en moldes de forma y dimensiones estándares a un ensayo de tracción en el equipo denominado ductilímetro que es dentro de un baño de agua, bajo condiciones determinadas de velocidad (5 cm/min) y temperatura (25° C). El promedio de las longitudes máximas medidas en centímetros al momento en que ocurrió la rotura de cada muestra es el resultado de la ductilidad (ver Figura 10).

Es de suma importancia saber la magnitud de la ductilidad de un cemento asfáltico, de tal manera que permite predecir su comportamiento. Al ser de baja magnitud se lo compara con un material frágil al estar sometido a esfuerzos por la presencia del tránsito o por las variaciones de temperatura siendo propenso a fallas por agrietamiento debido a su poca capacidad de relajación. Y si es alto significa que será dúctil teniendo alta capacidad de relajación siendo una de las mejores propiedades aglomerantes.



**Figura 10. Ensayo de ductilidad**

**Fuente:** Autores

### **3.2. Clasificación por grado de desempeño (PG) según la tecnología Superpave.**

El sistema de clasificación PG recogido en la normativa NTE INEN 3030 analiza al cemento asfáltico en las tres etapas características a las que será expuesto:

- Betunes en estado original: Previo a cualquier proceso de mezclado.
- Betunes envejecidos en RTFO: A semeja la exposición que sufre el asfalto durante los procesos de mezclado, transporte y puesta en obra de la mezcla.
- Betunes envejecidos en PAV: Envejecimiento durante un largo período de tiempo en servicio. La muestra a ensayar en PAV proviene del RTFO.

Las clasificaciones comprenden:

- Clasificación a altas temperaturas utilizando el parámetro  $G^*/\sin(\delta)$  obtenido con el equipo DSR (reómetro de corte directo) en muestras con el envejecimiento primario (RTFO). Dicho parámetro está asociado con el ahuellamiento.
- Control a temperaturas intermedias utilizando el parámetro  $G^*/\sin(\delta)$  obtenido con el equipo DSR en muestras con el envejecimiento secundario (PAV). Dicho parámetro está asociado con la fatiga.
- Clasificación a bajas temperaturas utilizando los resultados del BBR (reómetro de viga en flexión) en muestra con envejecimiento secundario (PAV). Dicho parámetro está asociado con el agrietamiento a bajas temperaturas.

Se muestra a continuación las tablas 2 y 3 correspondientes a la norma AASHTO M 320 de la clasificación por grado de desempeño.

**Tabla 2. Clasificación por grado de desempeño**

GRADO LIGANTE	PG 46			PG 52						PG 58					PG 64						
	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
Temperatura máxima de diseño del pavimento, promedio de 7 días, °C (a)	< 46			< 52						< 58					< 64						
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C (a)	> -34	> -40	> -46	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -46	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40
<b>ASFALTO ORIGINAL</b>																					
Temperatura Flesh Point, T48; Mínima °C	230																				
Viscosidad, ASTM D4402; (b) Máximo 3 Pa*s, Temperatura de ensayo, °C	135																				
Corte Dinámico, TP5; (c) G*/sen (δ) Mínimo: 1.00 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA</b>																					
Pérdida de masa, Máxima, %	1.00																				
Corte Dinámico, TP5; G*/sen (δ) Mínimo: 2.20 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	46			52						58					64						
<b>ENVEJECIMIENTO EN RECIPIENTE PRESURIZADO</b>																					
Temperatura de Envejecimiento en PAV, °C (d)	90			100						100					100						
Corte Dinámico, TP5; G*/sen (δ) Máximo: 5000 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Endurecimiento Físico (e)	INFORMAR																				
Módulo de Rigidez, TP1; (f) S máximo: 300 MPa; valor mínimo de m: 0.300 Temperatura de ensayo a 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tracción directa, TP3; (f) Deformación de Rotura mínima: 1% temperatura de ensayo a 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Fuente: Libro Asfaltos y Mezclas Dr. Rolando Vila

**Tabla 3. Clasificación por grado de desempeño (continuación)**

GRADO LIGANTE	PG 70						PG 76					PG 82				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento, promedio de 7 días, °C (a)	< 70						< 76					< 82				
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C (a)	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34
<b>ASFALTO ORIGINAL</b>																
Temperatura Flesh Point, T48; Mínima °C	230															
Viscosidad, ASTM D4402; (b) Máximo 3 Pa*s, Temperatura de ensayo, °C	135															
Corte Dinámico, TP5; (c) G*/sen (δ) Mínimo: 1.00 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	70						76					82				
<b>HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA</b>																
Pérdida de masa, Máxima, %	1.00															
Corte Dinámico, TP5; G*/sen (δ) Mínimo: 2.20 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	70						76					82				
<b>ENVEJECIMIENTO EN RECIPIENTE PRESURIZADO</b>																
Temperatura de Envejecimiento en PAV, °C (d)	100 (110)						100 (110)					100 (110)				
Corte Dinámico, TP5; G*/sen (δ) Máximo: 5000 kPa, Temperatura de ensayo a 10 rad/s, °C	34	31	28	28	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Endurecimiento Físico (e)	INFORMAR															
Módulo de Rigidez, TP1; (f) S máximo: 300 MPa; valor mínimo de m: 0.300 Temperatura de ensayo a 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tracción directa, TP3; (f) Deformación de Rotura mínima: 1% temperatura de ensayo a 1.0 mm/min, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

Fuente: Libro Asfaltos y Mezclas Dr. Rolando Vila

### 3.2.1. Cámara de envejecimiento a presión (PAV)

El equipo PAV utiliza la temperatura y la presión para simular en un tiempo relativamente corto el envejecimiento que sufrirá el asfalto durante un largo tiempo de servicio. (7 a 10 años).

El procedimiento según la norma ASTM 6521 se realiza luego que los ligantes asfálticos hayan pasado el envejecimiento primario ya descrito, ensayándolos durante 20 horas en la cámara PAV (ver Figura 11). Posteriormente se miden las propiedades físicas para estimar el comportamiento del asfalto.



**Figura 11. Cámara de envejecimiento a presión**

**Fuente:** Autores

### 3.2.2. Reómetro de corte dinámico (DSR)

Por medio de los componentes del ángulo de fase ( $\delta$ ) y el módulo de corte complejo ( $G^*$ ) se evalúan las características viscosas y elásticas de los cementos asfálticos que dependen principalmente de la temperatura y frecuencia de carga.

A altas temperaturas el asfalto tiene un comportamiento fluido y viscoso mientras que a bajas temperaturas se comporta como sólidos elásticos (ver Figura 12).

Según AASHTO T 315 el procedimiento de ensayo consiste en colocar una pequeña muestra de asfalto, previamente preparada en un molde de silicona,

entre una placa fija y una oscilante que rota de manera semicircular asemejando un ciclo de oscilación, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- Asfalto original y envejecido en horno RTFO. Se emplean platillos de 25 mm y separación de 1 mm para temperaturas altas: 46°C o más.
- Asfalto con envejecimiento secundario (PAV). Se emplean platillos de 8 mm y separación de 2 mm para temperaturas entre 4°C y 40°C.

Se selecciona la temperatura apropiada de acuerdo a la especificación Superpave y se realiza el barrido de temperaturas correspondiente.



**Figura 12. Reómetro de corte dinámico**

**Fuente:** Autores

Los resultados del ensayo DSR se relacionan con las fallas comunes en los cementos asfálticos tal como:

### **Deformación Permanente o Ahuellamiento**

Es causada por elevadas temperaturas en el pavimento y ocurre principalmente en los primeros años de la vida de servicio en presencia de cargas repetitivas de vehículos, por lo que el envejecimiento RTFO es más representativo.

La magnitud de las deformaciones permanentes según la norma AASHTO M320 definió un factor  $G^*/\sin(\delta)$  para medir la rigidez del cemento asfáltico y la resistencia a las deformaciones permanentes o ahuellamientos. La especificación

tiene un límite máximo para el parámetro de control  $G^*/\text{sen}(\delta)$  de 1.0 para el ligante original y de 2.2 para el residuo RTFO considerando una temperatura media de servicio para el cemento asfáltico (INV E-750).

### **Agrietamiento por fatiga**

Es causado por el daño acumulado de un incremento lineal del deterioro del asfalto que se manifiesta por medio de grietas o fisuras. El asfalto a ensayar es aquel que sale del envejecimiento secundario (PAV) que simula el estado más crítico y más representativo a la fatiga con el tiempo.

El procedimiento utiliza los factores  $G^*\text{sen}(\delta)$  para analizar la resistencia a la fatiga que presenta la muestra bajo ciertas condiciones de temperatura. La especificación tiene un límite máximo de 5000 kPa para el factor  $G^*\text{sen}(\delta)$  considerando una temperatura media de servicio para el cemento asfáltico procedente del RTFO y PAV (INV E-750-07 DSR, 2017).

### **3.2.3. Reómetro de viga a flexión (BBR)**

Este equipo determina la rigidez de fluencia del ligante asfáltico a la deformación o flexión, bajo la aplicación de una carga constante en un ambiente de baja temperatura (ver Figura 13).

De acuerdo a la norma AASHTO T 313 el procedimiento parte inicialmente de la preparación del molde de la viga cuyas medidas y lubricación se encuentran ya establecidas, en la que se vierte el cemento asfáltico procedente del PAV, procurando no dejar ningún vacío y sus esquinas bien definidas para que no afecten a su geometría.

Una vez realizada la muestra, se la deja reposar a temperatura ambiente durante  $60 \pm 5$  minutos, posteriormente se engrasa la superficie excedente y se la coloca dentro del BBR sin ensayar para bajar su temperatura a la del ensayo. Transcurridos  $60 \pm 5$  minutos se procede a realizar el ensayo en el equipo bajo las temperaturas establecidas.



**Figura 13. Reómetro de viga flexión**  
Fuente: Autores

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Resultados de la clasificación por grado de viscosidad**

En la Tabla 4 se observa los resultados de los diferentes ensayos de las seis muestras de cemento asfáltico procedente de la Refinería de Esmeraldas con las especificaciones nacionales INEN 2515-2010 de acuerdo a la clasificación por grado de viscosidad. Los valores sombreados con rojo son las muestras que incumplen con las exigencias establecidas para AC-20 y AC-30.

**Tabla 4. Resultados de los ensayos de la clasificación por viscosidad**

ENSAYO	UNIDAD	MUESTRAS						GRADO DE VISCOSIDAD			
		FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE	DICIEMBRE	NTE INEN 2515:2010			
								AC-20		AC-30	
								Min	Max	Min	Max
Viscosidad dinámica (60° C)	Pa.s	257	241	237	210	242	254	200 ± 40		300 ± 60	
Viscosidad cinemática, (135°C)	mm <sup>2</sup> /s	381	386	381	366	379	396	300	-	350	-
Punto de Inflamación	°C	292	295	284	294	298	298	232		232	
Gravedad específica (25 °C/25 °C)		1,013	1,012	1,013	1,012	1,012	1,012	-	-	-	-
Índice de Penetración	0,1 mm	-0.1	-0.5	-0.6	-1.0	-0.3	-0.6	-1.5 a +1		-1.5 a +1	
Punto de Ablandamiento	°C	52.5	51.0	50.0	48.0	51.0	51	-	-	-	-
<b>RTFOT (Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio)</b>											
Viscosidad dinámica (60° C)	Pa s	1287	1534	1351	1205	1223	1470	-	800	-	1200
Cambio de Masa	% w/w	-0.24	-0.25	-0.15	-0.26	-0.24	-0.29	-	1.0	-	1.0
Ductilidad 25 °C, 5cm/min	cm	32	21	31	29	30	27	50	-	40	-

**Fuente:** Autores

De acuerdo a los resultados obtenidos en las seis muestras de cementos asfálticos procedentes de la Refinería de Esmeraldas se puede verificar que las muestras correspondientes a los meses de junio y agosto clasificarían como un AC-20 al considerar solo su viscosidad a 60°C en estado original (mínimo de 200±40 Pa.s). De igual forma, las muestras de febrero, abril, octubre y diciembre clasificarían inicialmente como un AC-30 al tomar en cuenta dicha viscosidad (mínimo 300±60 Pa.s). Los restantes resultados para el estado original cumplen las exigencias.

Sin embargo, después del proceso de envejecimiento que simula el horno (RTFO), ninguna de las muestras residuales cumple con las exigencias establecidas para los tipos de asfaltos mencionados.

Es decir, se puede observar que el asfalto procedente de la refinería de Esmeraldas ya sea AC-20 o AC-30 presenta problemas críticos

de envejecimiento prematuro. Dicho envejecimiento provoca un aumento de su dureza, disminución de su capacidad de estiramiento y de flexión, obteniéndose así un asfalto propenso al agrietamiento.

#### 4.2. Resultados de la clasificación por grado de desempeño (PG)

A continuación, en la Tabla 5 se muestran los valores obtenidos para los seis asfaltos estudiados según las especificaciones Superpave.

**Tabla 5. Clasificación por grado de desempeño PG**

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS							
			FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE	DICIEMBRE		
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>										
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	292	295	284	294	298	298		
Viscosidad, Cp	AASHTO T 316	3000 max	1287.00	1534	1351	1205	1223	1470		
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	46°C	AASHTO T 315	1,0 min	13.9	13.7	13.5	15.7	12.7	21.5	
	52°C			5.84	5.91	5.81	9.05	5.55	9.23	
	58°C			2.54	2.61	2.49	4.04	2.43	4	
	64°C			1.14	1.18	1.11	1.87	1.11	1.78	
	70°C			0.537	0.564	0.506	0.885	0.533	0.864	
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>										
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-	-	-	-	-	-		
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	46°C	AASHTO T 315	2,2 min	39.5	44.2	39.2	78.6	41.2	63.8	
	52°C			17.8	20.5	18.2	37.1	18.8	30.1	
	58°C			7.55	9.06	7.77	17.2	8.4	13.8	
	64°C			3.42	4.23	3.56	8.43	3.95	6.53	
	70°C			1.63	2.05	1.62	4.09	1.91	3.16	
76°C	-	-	-	-	-	1.53				
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>										
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	31°C	AASHTO T 315	5000 máx	605	921	906	1110	881	583	
	28°C			893	1360	1340	1600	1300	880	
	25°C			1310	1970	1950	2260	1920	1320	
	22°C			1890	2810	2780	3150	2760	1940	
	19°C			2670	3950	3890	4350	3890	2810	
	16°C			3700	5440	5360	5950	5410	3970	
	13°C			5080	-	-	-	-	5470	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	668	-	-	-	-	579		
Valor m		0,300 mín	0.241	-	-	-	-	0.231		
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	404	366	379	339	388	362		
Valor m		0,300 mín	0.286	0.271	0.266	0.274	0.293	0.294		
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	185	222	201	169	189	183		
Valor m		0,300 mín	0.319	0.338	0.305	0.323	0.320	0.327		
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	-	-	-	-	-	-		
Valor m		0,300 mín	-	-	-	-	-	-		
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>			AASHTO M 320	--	<b>64-28</b>	<b>64-28</b>	<b>64-28</b>	<b>64-28</b>	<b>64-28</b>	

**Fuente:** Autores

Se puede determinar en los resultados que, para temperaturas altas, la cual está analizada por el DSR en estado original y envejecido, las seis muestras de asfalto cumplen para una temperatura de 64°C. Para las temperaturas altas la falla predominante es el ahuellamiento, el cual según la clasificación por grado

de desempeño nos indica que va a tener un buen comportamiento por haber cumplido el 64°C.

Luego, se consideran las temperaturas bajas, es importante este análisis ya que la falla predominante es el agrietamiento, se lo realiza con el equipo de BBR. Según los resultados se observa que en los seis meses las muestras de asfalto cumplen para una temperatura de -28°C.

**Tabla 6. Rangos de temperaturas en el pavimento de acuerdo con la tecnología Superpave (a 2 cm de profundidad)**

Regiones	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Costa	54 a 58	8 a 16
Sierra	42 a 52	-3 a 8
Amazonía	52 a 57	7 a 15

**Fuente:** Autores

Se ha obtenido que, en los seis meses analizados, las muestras de asfalto clasifican como PG 64-28, lo cual para los rangos de temperaturas de trabajo de las carreteras en el Ecuador sería totalmente suficiente (ver Tabla 6). Si se comparan los resultados de la clasificación por viscosidad y PG puede notarse una contradicción evidente. Si bien en la primera se detectan insuficiencias de calidad en el residuo envejecido, en la segunda los resultados serían satisfactorios. Por ello, sería conveniente profundizar el análisis haciendo la caracterización reológica adicional.

## CAPÍTULO III

### 5. CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA ADICIONAL

#### 5.1. Introducción

Las predicciones para el comportamiento de la mezcla asfáltica a temperaturas intermedias utilizando únicamente el parámetro Superpave “ $G \cdot \sin(\delta)$ ”, se correlaciona pobremente con la fatiga. Lo cual ha sido analizado por diferentes investigadores desde el comienzo de la tecnología Superpave (Soenen, H. et al, 2000; Bahia, H. et al, 2001; Shenoy, A., 2001; Stuart, K.D. et al, 2002; Tsai, B. et al, 2005 y Walker, D., 2011).

Un experto del Instituto del Asfalto opinó: “El próximo paso en la evolución de la tecnología de los asfaltos es fijar un parámetro para el control de los ligantes a las temperaturas intermedias, es decir, relacionado con los deterioros asociados a las fisuras por fatiga y la durabilidad. Un grupo de nuevas pruebas y parámetros han sido propuestos: Barrido lineal de amplitud (LAS), Valor-R, Glover-Rowe,  $\Delta T_c$  y tensión en doble borde con muesca (DENT) por citar algunos, pero los estudiosos del asfalto tienen todavía que ponerse de acuerdo sobre la que ellos consideren que mejor se relaciona con el agrietamiento a las temperaturas intermedias” (Anderson , 2016).

Por ende, es usual realizar pruebas de caracterización adicionales a las pruebas correspondientes a la clasificación PG, empleando algunas de las mencionadas en el párrafo anterior para un análisis del comportamiento reológico de las muestras del cemento asfáltico. Hay que considerar además que los asfaltos a pesar de que están expuestos a los esfuerzos producidos por el tráfico, incrementan sus daños aún más cuando se envejecen siendo afectado por los esfuerzos provocados por los gradientes térmicos, causando fisuras en bloques (King et al, 2012).

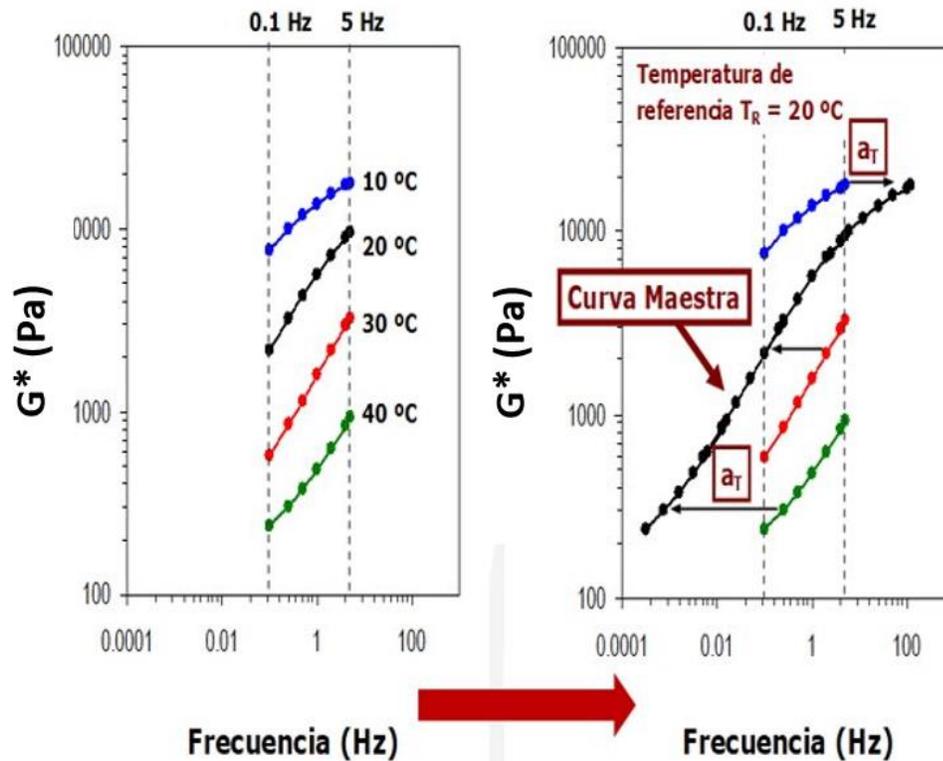
## **5.2. Marco teórico**

### **5.2.1. Curvas Maestras**

Las curvas maestras representan al módulo como una función del tiempo o a una frecuencia, describe el factor de desplazamiento relacionándolo a una determinada temperatura. En general, la forma de una curva maestra es hiperbólica, con una limitante del módulo vítreo y una asíntota viscosa. La curva maestra puede en general ser caracterizada por dos parámetros: un parámetro de forma que denota el tipo y ancho de espectro de relajación reológica y un parámetro de localización, el cual puede ser pensado como una indicación de la dureza del asfalto a una temperatura seleccionada (Anderson, Christensen, & Bahia, 1991).

Una de las técnicas primarias usadas en el análisis de los datos mecánicos dinámicos SHRP para asfaltos involucra la construcción de curvas maestras para el módulo complejo dinámico y el ángulo de fase. En la construcción de tales curvas maestras se hace uso del principio de superposición tiempo-temperatura, los datos dinámicos son recolectados a un rango de temperatura y frecuencia.

Los datos son reducidos eficazmente seleccionando una temperatura estándar de referencia, generalmente 20 ó 0° C que corresponden a las temperaturas homologadas a nivel mundial para la ejecución de ensayos. La referencia utilizada en el análisis de datos para asfaltos SHRP fue 20° C. Los datos de otras temperaturas son entonces desplazados con respecto al tiempo, hasta que las curvas se fusionan en una sola, función suavizada. Esto es gracias al logaritmo de la frecuencia reducida o también llamado Shift Factor, que representa la cantidad de desplazamiento requerido a cada temperatura para formar la curva maestra. La aplicación del principio de superposición tiempo-temperatura en la construcción de curvas maestras y en la determinación del factor de desplazamiento es una poderosa herramienta de investigación, la cual claramente separa la dependencia del tiempo y la temperatura en cementos asfálticos (ver Figura 14) (Christensen, D. W., & Anderson, D. A., 1992).



**Figura 14. Ejemplo de construcción de curva maestra a 20°C**

**Fuente:** Modelos para la construcción de curvas maestras del módulo dinámico de mezclas asfálticas. (Fernando Martínez, Silvia Angelone, Marina Cauhapé Casauxx y Manuek Boorghy, 2013)

El desplazamiento puede realizarse con base en una de las funciones viscoelásticas, si la superposición tiempo-temperatura es válida, las otras funciones viscoelásticas pueden formar una función continua después del desplazamiento. En la investigación SHRP, el desplazamiento fue realizado con base en el módulo complejo  $G^*(\omega)$  (Christensen, D. W., & Anderson, D. A., 1992; Marasteanu, M. O., & Anderson, D. A., 1999; Marasteanu, M., & Anderson, D., 1996; Zeng, M., Bahia, H. U., Zhai, H., Anderson, M. R., & Turner, P., 2001).

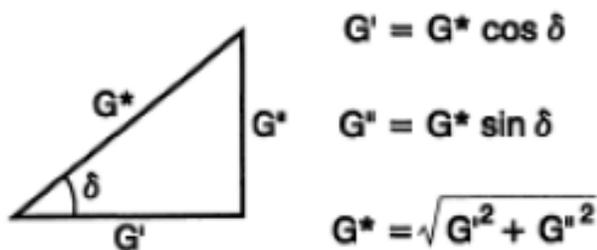
### 5.2.1.1. Parámetros de la curva maestra

El modelo Christensen-Anderson-Marasteanu es una herramienta muy útil porque los parámetros de la curva maestra ( $G^*$ ,  $\omega_c$ ,  $R$  y  $T_d$ ) tienen un significado físico específico (Boosherian, Mogawer, & Bonaquist, 2013):

- **Módulo Vítreo,  $G^*$ :** Es el módulo complejo al que un ligante asfáltico se acerca, pero no excede, a bajas temperaturas y altas frecuencias.

El módulo vítreo es normalmente muy cercano a 1 GPa en cargas de corte para la mayoría de los cementos asfálticos. Por lo general, se asume dicho valor para la mayoría de casos. (Jaramillo, J., León, A., Vila, R., & Villao, A., 2017)

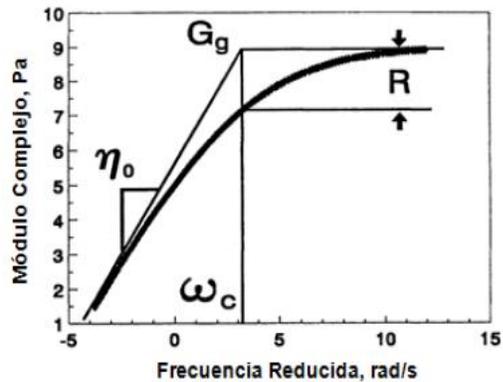
- **Frecuencia de cruce,  $w$ :** Representa la frecuencia en la que el módulo correspondiente a la componente viscosa ( $G''$ ) y a la elástica ( $G'$ ) son equivalentes, o sea,  $\tan(\delta)$  es igual a 1. Se identifica con el punto en el que la asíntota viscosa se intersecta con el módulo vítreo. Ver Figura 15.



**Figura 15. Relación entre componente viscosa, componente elástica y ángulo de fase**

**Fuente:** Critical Analysis of PH and PG+ asphalt binder test methods. (Erik T. Lyngdal, 2015)

**Índice reológico,  $R$ :** Es la diferencia entre el módulo vítreo y el módulo complejo en la frecuencia de cruce,  $G^*(\omega_c)$ . Cuanto mayor sea el índice reológico, más gradual será el cambio del comportamiento vítreo al viscoso. Ver Figura 16.



**Figura 16. Parámetros dinámicos de la curva maestra para asfaltos.**

**Fuente:** Critical Analysis of PH and PG+ asphalt binder test methods. (Erik T. Lyngdal, 2015)

**Temperatura de definición, Td:** Está relacionada con la temperatura de transición vítrea del aglutinante y es un indicador de la dependencia de la temperatura del material. La dependencia de la temperatura aumenta a medida que aumenta Td (Christensen, D. W., & Anderson, D. A., 1992).

### 5.2.2. Diagrama de Black

La variación del componente  $G^*$  en su comportamiento viscoelástico depende directamente de la temperatura y el tiempo de aplicación de carga, de tal manera que se puede obtener diferentes valores de  $G^*$  realizando combinaciones de ambos factores. El diagrama de Black es una gráfica representativa que relaciona el módulo complejo  $G^*$  y el ángulo de fase  $\delta$  de los asfaltos en un rango de frecuencia previamente establecido para una temperatura. Permiten detectar posibles errores en las mediciones y además identificar tipos de modificadores y ligantes.

### 5.2.3. Temperatura de Transición

Si bien es más fácil clasificar la respuesta del material a la temperatura más alta (fluido no newtoniano) y más baja (material vítreo), es extremadamente complejo clasificar la respuesta del material cuando es de naturaleza viscoelástica, ya que podría comportarse como un sólido viscoelástico o un fluido viscoelástico. De

hecho, el comportamiento reológico del betún mantiene el ciclo entre el sólido viscoelástico y el fluido viscoelástico durante la mayor parte del año, con la excepción, por supuesto, de unas pocas horas y unos pocos días en los que se observa un comportamiento termo-mecánico extremo.

Dado que la respuesta del pavimento varía drásticamente cuando el aglutinante se comporta como un sólido viscoelástico o un fluido viscoelástico, es necesaria la cuantificación de dicha respuesta. También es necesario averiguar la temperatura y / o el período de tiempo durante el cual se observa tal cruce gradual a través del comportamiento sólido-fluido viscoelástico (M. R. NivithaJ. Murali Krishnan, 2016).

#### **5.2.4. Parámetro $\Delta T_c$**

Debido a que el crecimiento de grietas se acelera a medida que los pavimentos se enfrían, esta misma porción de baja temperatura es más relevante para los mecanismos de daños relacionados con la edad.

$\Delta T_c$  representa un parámetro que es capaz de indicar la calidad y la durabilidad del cemento asfáltico, además es idóneo para relacionarse con otros diferentes parámetros que se asocian a temperaturas intermedias, a pesar que  $\Delta T_c$  se consigue por medio de bajas temperaturas.

El parámetro  $\Delta T_c$  se ha propuesto como un método relativamente simple para medir la pérdida de propiedades de relajación de los aglutinantes de asfalto. Si bien aún se encuentra en la fase de evaluación, podría usarse potencialmente como un parámetro de aglutinante para predecir el rendimiento de craqueo de las mezclas asfálticas.

### **5.3. Desarrollo**

#### **5.3.1. Configuración de Curvas Maestras**

Para la construcción de las curvas maestras de las diferentes muestras se utiliza la información obtenida con el equipo DSR, es decir, el módulo complejo ( $G^*$ ) y

el ángulo de fase ( $\delta$ ) utilizando un rango de frecuencias escogidos (37.5 a 0.1 HZ) para diferentes temperaturas (10 a 70°C). En la prueba para intervalos de temperatura de 10°C a 30°C se utilizó el platillo de 8mm de diámetro y para temperaturas superiores a 30°C se utilizó el platillo de 25 mm de diámetro.

El software Bohlin del equipo DSR suministró parámetros tales como: frecuencia (Hz), temperatura (°C), tiempo (s), módulo elástico (Pa), módulo viscoso (Pa), viscosidad compleja (Pa.s) esfuerzo de corte (Pa) y la tensión, dicha información se utilizó para graficar las curvas log  $G^*$  vs log de frecuencia para todas las temperaturas del ensayo. Con la ayuda de una hoja de cálculo (ver tablas 7y 8) se construyó las curvas maestras utilizando el modelo de Cristian-Anderson-Marasteanu (CAM).

**Tabla 7. Ejemplo de hoja de cálculo para graficar curvas maestras**

Run #	Plate	Time (s)	Temperature (°C)	Frequency (Hz)	Phase Angle (°)	Complex Modulus (Pa)	Elastic Modulus (Pa)	Viscous Modulus (Pa)	Complex Viscosity (Pa.s)	Shear Stress (Pa)
#1	8mm	62.38	10.00	3.00E+01	29.24	4.71E+07	4.11E+07	2.30E+07	2.50E+05	9.96E+04
#1	8mm	93.75	10.00	2.50E+01	29.71	4.44E+07	3.86E+07	2.20E+07	2.83E+05	9.94E+04
#1	8mm	125.16	10.00	2.00E+01	29.22	4.23E+07	3.69E+07	2.06E+07	3.36E+05	9.94E+04
#1	8mm	156.82	10.00	1.50E+01	29.19	3.89E+07	3.40E+07	1.90E+07	4.13E+05	9.95E+04
#1	8mm	188.40	10.00	1.00E+01	29.19	3.44E+07	3.01E+07	1.68E+07	5.48E+05	9.95E+04
#1	8mm	220.49	10.00	5.00E+00	29.54	2.79E+07	2.43E+07	1.38E+07	8.88E+05	9.95E+04

Fuente: Autores

**Tabla 8. Ejemplo de hoja de cálculo para graficar curvas maestras (continuación)**

Run #	Plate	Time (s)	Temperature (°C)	Strain	Log Frequency	Log( $G^*$ ) <sub>meas.</sub>	Shift Factor	Log Reduced Frequency	Log( $G^*$ ) <sub>calc</sub>	$\Delta^2$	Predicted Phase Angle
#1	8mm	62.38	10.00	2.23E-03	1.48E+00	7.67E+00	7.07E+01	2.12E+03	7.72E+00	2.14E-03	2.89E+01
#1	8mm	93.75	10.00	2.33E-03	1.40E+00	7.65E+00	7.07E+01	1.77E+03	7.70E+00	2.75E-03	2.93E+01
#1	8mm	125.16	10.00	2.42E-03	1.30E+00	7.63E+00	7.07E+01	1.41E+03	7.68E+00	2.43E-03	2.97E+01
#1	8mm	156.82	10.00	2.60E-03	1.18E+00	7.59E+00	7.07E+01	1.06E+03	7.64E+00	2.86E-03	3.03E+01
#1	8mm	188.40	10.00	2.91E-03	1.00E+00	7.54E+00	7.07E+01	7.07E+02	7.60E+00	3.65E-03	3.11E+01
#1	8mm	220.49	10.00	3.57E-03	6.99E-01	7.45E+00	7.07E+01	3.54E+02	7.52E+00	4.89E-03	3.26E+01

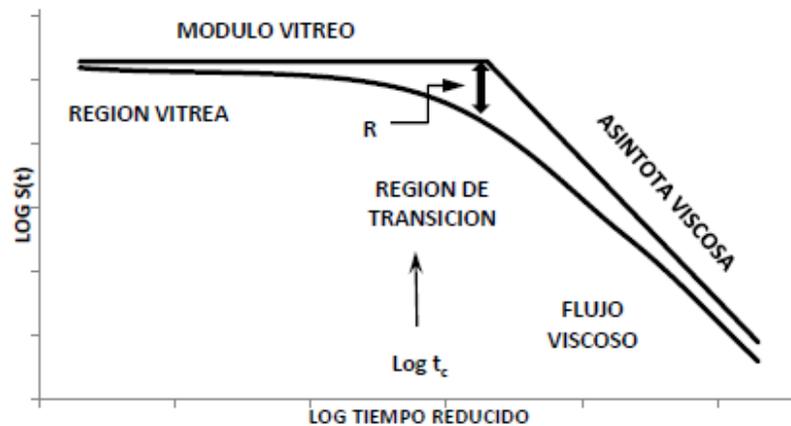
Fuente: Autores

En general, en las curvas maestras de los cementos asfálticos se pueden identificar tres regiones de comportamiento (ver Figura 17) las cuales son:

- A temperaturas bajas o cortos tiempos de carga (altas frecuencias): El asfalto se comporta como un sólido vítreo. El módulo depende del tiempo

o de la rigidez, acercándose a valores aproximados a  $10^9$  Pa en corte, o de  $3 \times 10^9$  Pa en tensión-compresión o flexión uniaxial. En esta región, la rigidez es solo ligeramente dependiente de la temperatura y/o tiempo de carga (Anderson, D., Christensen, D. & Bahia, H., 1991)

- A temperaturas o tiempos de carga (frecuencias) intermedios: El asfalto se somete a una transición muy gradual de comportamiento vítreo a fluido. Esta región de transición se caracteriza por un gran retardo o disminución en la elasticidad, significando que el material se comporta como cuero-goma. El módulo cambia drásticamente en esta región a medida que se altera la temperatura o el tiempo de carga (Anderson, D., Christensen, D. & Bahia, H., 1991)
- A temperaturas altas o tiempos de carga prolongados (bajas frecuencias): el cemento asfáltico se comporta como un fluido viscoso. La deformación, en condiciones de bajos o moderados esfuerzos y tasas de deformación puede ser descrita por la ley de fluido newtoniano. La velocidad de deformación cortante es proporcional al esfuerzo cortante (Anderson, D., Christensen, D. & Bahia, H., 1991)



**Figura 17. Curva Log s(t) vs Log tiempo reducido**

**Fuente:** Construcción de las curvas maestras del mastic a partir del análisis reológico de muestras elaboradas en laboratorio y muestras recuperadas de mezclas en servicio, 2012

### 5.3.2. Configuración del Diagrama de Black

Los Diagramas de Black de las muestras de cementos asfálticos serán evaluados en condiciones de envejecimiento primario (RTFOT) y envejecimiento secundario (PAV), condiciones usuales de trabajo en mezclas asfálticas producidas en planta. Utilizando el programa Bohlin Software Integrated del equipo DSR se consideraron:

- Rango de frecuencia entre 0.1 Hz y 37.5 Hz
- Rango de temperaturas entre 10°C y 70°C, con intervalos de 10° C.

### 5.3.3. Configuración de temperatura de transición

El punto de transición consiste en encontrar la temperatura en la que la componente elástica y viscosa del módulo complejo de corte ( $G^*$ ) del asfalto sean iguales, es decir, donde su ángulo de fase ( $\delta$ ) sea de 45°, cuyos datos serán obtenidos del barrido de temperaturas (10°C a 70°C) a una frecuencia de 10 rad/seg para las diferentes muestras de cementos asfálticos en estado de envejecimiento primario y secundario.

### 5.3.4. Configuración del parámetro $\Delta T_c$

El parámetro fue desarrollado por el Instituto del Asfalto y se obtiene a partir de la diferencia medida en el BBR para obtener la diferencia entre las temperaturas críticas bajas del cemento asfáltico, o sea:

$$\Delta T_c = T_{c, m} - T_{c, S}$$

- $T_{c, m}$  consiste en la temperatura crítica que concierne al valor de la pendiente “m”, lo cual es la pendiente de relajamiento de la rigidez, que debe ser igual a 0.300 con tiempo de carga de 60 segundos.
- $T_{c, S}$  es la temperatura crítica que consiste al valor de rigidez que debe de ser equivalente a 300 MPa que se lo consigue en un tiempo de carga de 60 segundos.

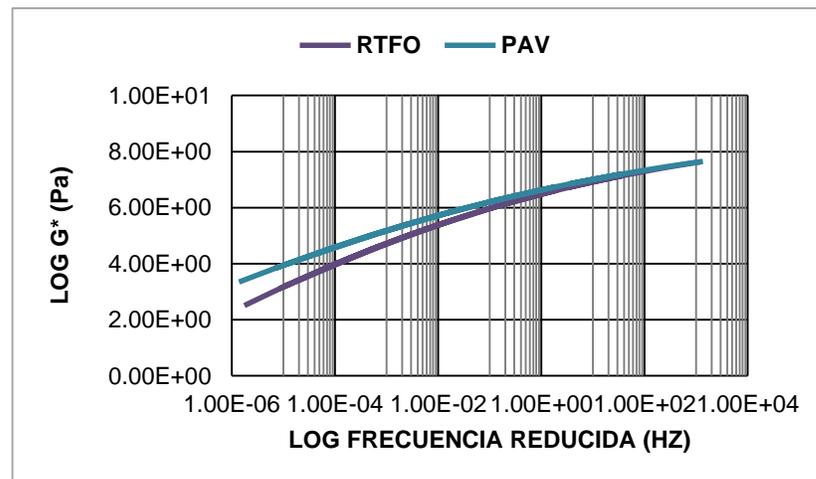
En la cantidad que el cemento asfáltico envejece, el valor de “ $\Delta T_c$ ” aumentarán, señalando que se estimarán una pérdida de las propiedades de relajamiento. Dependiendo del resultado, el parámetro  $\Delta T_c$  cuando llega al valor de 2,5 °C significa el comienzo del agrietamiento, y si llega a valores superiores a 5 °C denotará problemas serios de agrietamientos.

En algunos trabajos los términos que se encuentran en la fórmula se invierten y cambian un poco los criterios empleados, como por ejemplo si el valor de  $\Delta T_c$  se vuelve más negativo indica pérdida de las propiedades de relajación.

#### 5.4. Análisis de resultados

##### 5.4.1. Resultados de Curvas maestras del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas en Ecuador

En la Figura 18 se toma como ejemplo las curvas maestras del residuo RTFO y PAV correspondientes al mes de junio.

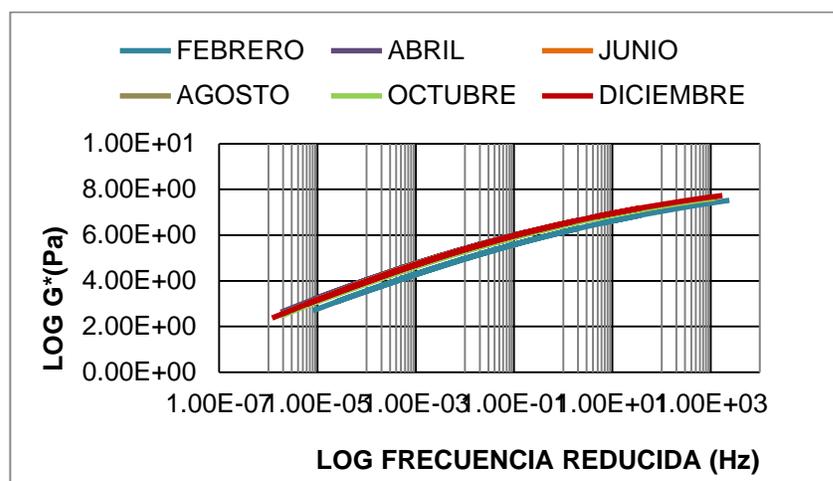


**Figura 18. Curvas Maestras mes de junio (RTFO y PAV)**

**Fuente:** Autores

Se decidió mostrar la Curva Maestra del mes de junio como representativa a las seis curvas correspondientes (ver Anexo 6).

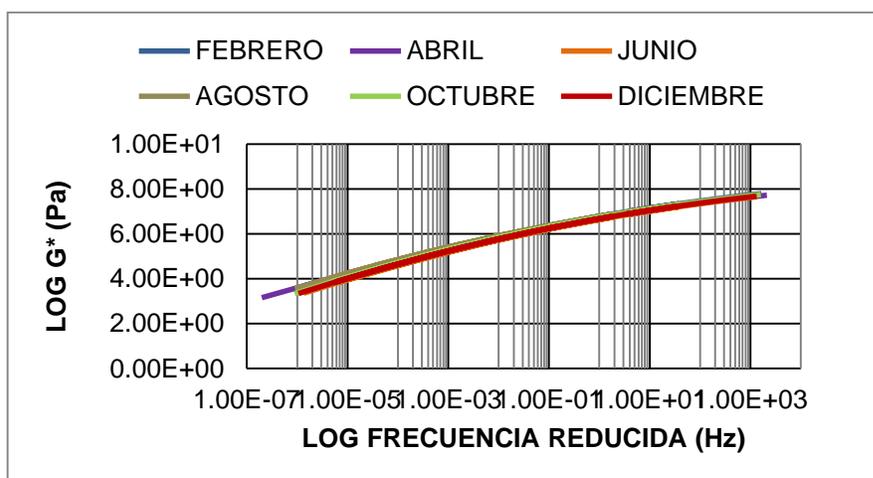
Como se observa en la Figura 18 en la medida que el asfalto pasa por un proceso de envejecimiento las curvas se desplazan hacia arriba en el gráfico debido a que los valores de módulo complejo aumentan, indicando una rigidización del cemento asfáltico y un incremento de su fragilidad.



**Figura 19. Curvas Maestras residuos RTFO**

Fuente: Autores

En la Figura 19 se puede apreciar las curvas maestras estudiadas con envejecimiento primario (RTFO) en la cual se evidencia un comportamiento muy similar entre ellas, con la excepción de la curva del mes de febrero la cual presenta valores de  $G^*$  menores a las demás, indicando un asfalto más blando.



**Figura 20. Curvas Maestras residuos PAV**

Fuente: Autores

Mientras que en la Figura 20 se muestran las curvas correspondientes al envejecimiento secundario (PAV), donde se evidencia un comportamiento muy uniforme al presentar valores de  $G^*$  muy parecidos lo que podría deberse a un elevado nivel de envejecimiento.

Para un análisis más profundo de los resultados, se realizó la obtención de las tres propiedades que se utilizan para ajustar las curvas maestras viscoelásticas ( $G_g$ ,  $\omega_c$  y  $R$ ). Dichas propiedades fueron calculadas matemáticamente empleando el modelo Cristian-Anderson-Marasteanu (CAM):

$$G^*(\omega) = G_g \left[ 1 + \left( \frac{\omega_c}{\omega_r} \right)^{(\log 2)/R} \right]^{-R/(\log 2)}$$

$G^*(\omega)$  = módulo de corte complejo (A una frecuencia establecida)

$G_g$  = módulo vítreo (Asumido 1 GPa)

$\omega_r$  = frecuencia reducida (A una temperatura definida)

$\omega_c$  = frecuencia de cruce (A una temperatura definida)

$\omega$  = frecuencia

$R$  = índice reológico

Resulta de mucha importancia dichos parámetros ya que contienen un significado físico sobre el asfalto ensayado. La frecuencia de cruce,  $\omega_c$ , representa una medida de la dureza general del aglutinante. A medida que disminuye la frecuencia de cruce, aumenta la dureza. Mientras que el índice reológico,  $R$ , es un indicador del tipo reológico. Se define como la diferencia entre el registro del módulo vítreo y el registro del módulo dinámico en la frecuencia de cruce. A medida que aumenta el valor de  $R$ , la curva maestra se vuelve más plana, aumentando los valores de modulo complejo dando a entender que a medida que el asfalto se envejece se volverá más rígido. (Boosherian, Mogawer, & Bonaquist, 2013)

**Tabla 9. Resultados de los parámetros de la curva maestra con residuo**

**RTFO**

	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE	DICIEMBRE
$\omega_c$ (Hz)	0.5023	0.0523	0.0471	0.0518	0.2249	0.1928
R	2.8195	2.7833	2.7722	2.8142	2.6738	2.6383

**Fuente:** Autores

**Tabla 10. Resultados de los parámetros de la curva maestra con residuo PAV**

	FEBRERO	ABRIL	JUNIO	AGOSTO	OCTUBRE	DICIEMBRE
$\omega c$ (Hz)	0.0134	0.0051	0.0026	0.0040	0.0075	0.0078
R	3.1615	3.2396	3.2967	3.3097	3.1479	3.2077

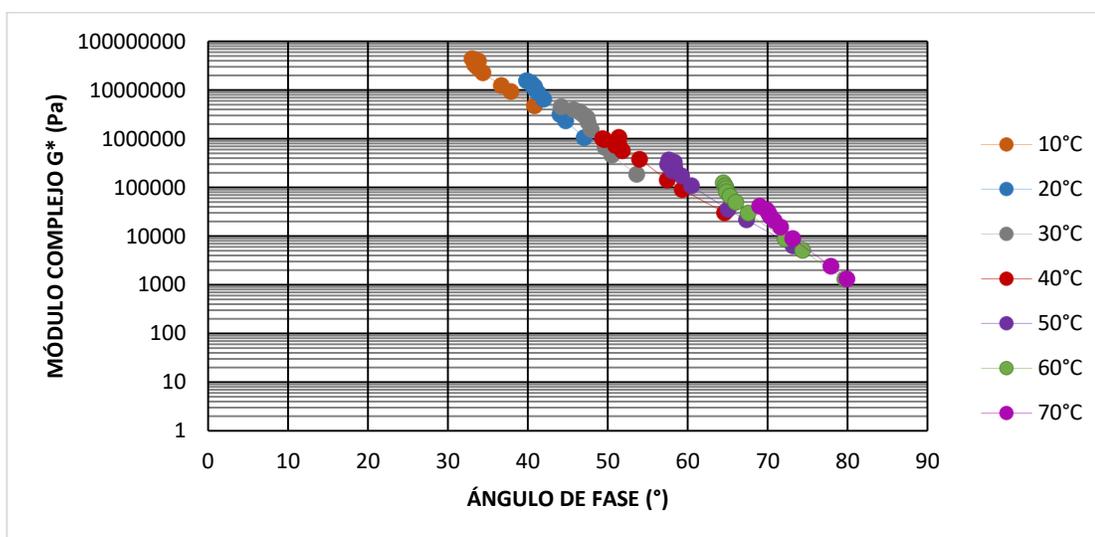
**Fuente:** Autores

En las tablas 9 y 10 se puede observar los resultados de los parámetros de las curvas maestras para los residuos de RTFO y PAV de todos los meses.

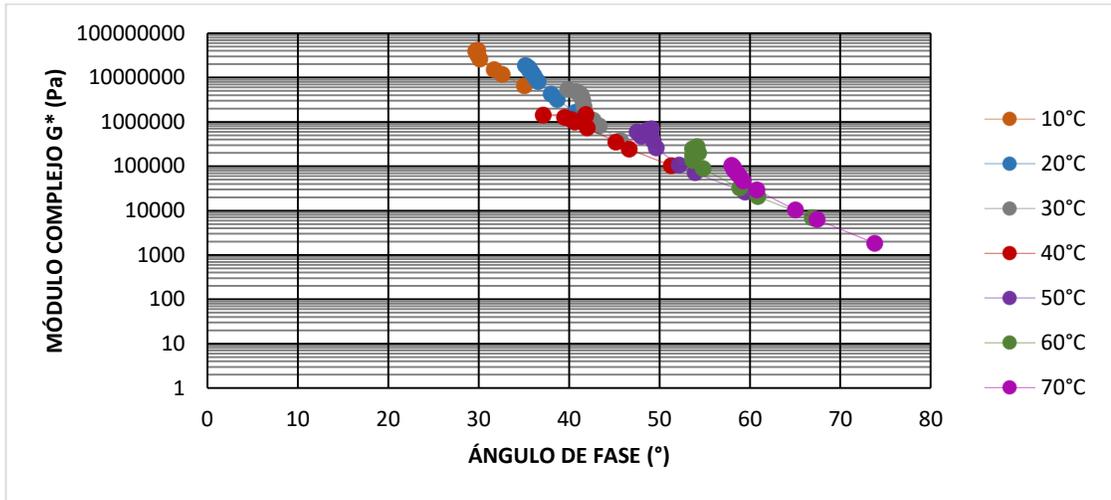
Al comparar los índices reológicos del residuo PAV contra los del RTFO, se puede observar un incremento en sus valores. Mientras que las frecuencias de cruce del residuo de PAV disminuyen. Demostrando de esta manera el aumento de dureza del asfalto al pasar por el envejecimiento secundario (PAV).

#### 5.4.2. Resultados de diagramas de Black del asfalto producido en la Refinería de Esmeraldas en Ecuador

En las figuras 21 y 22 se presenta como ejemplo el diagrama obtenido para la muestra del mes junio luego del RTFO y PAV para las diferentes temperaturas de ensayo.

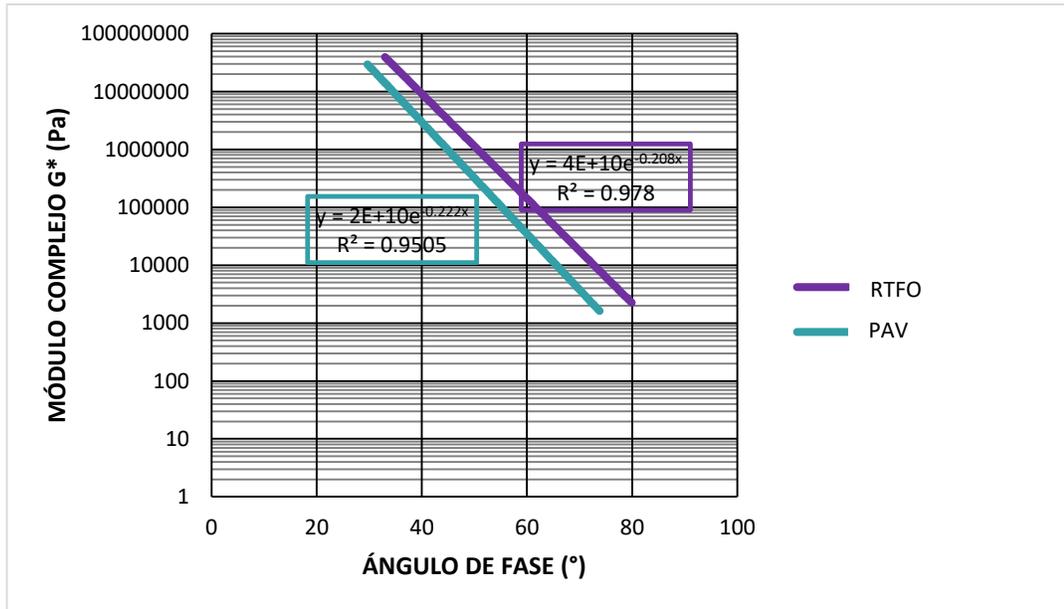


**Figura 21. Diagrama de Black. Residuo RTFO. Mes de junio 2018**  
**Fuente:** Autores



**Figura 22. Diagrama de Black. Residuo PAV. Mes de junio 2018**  
**Fuente: Autores**

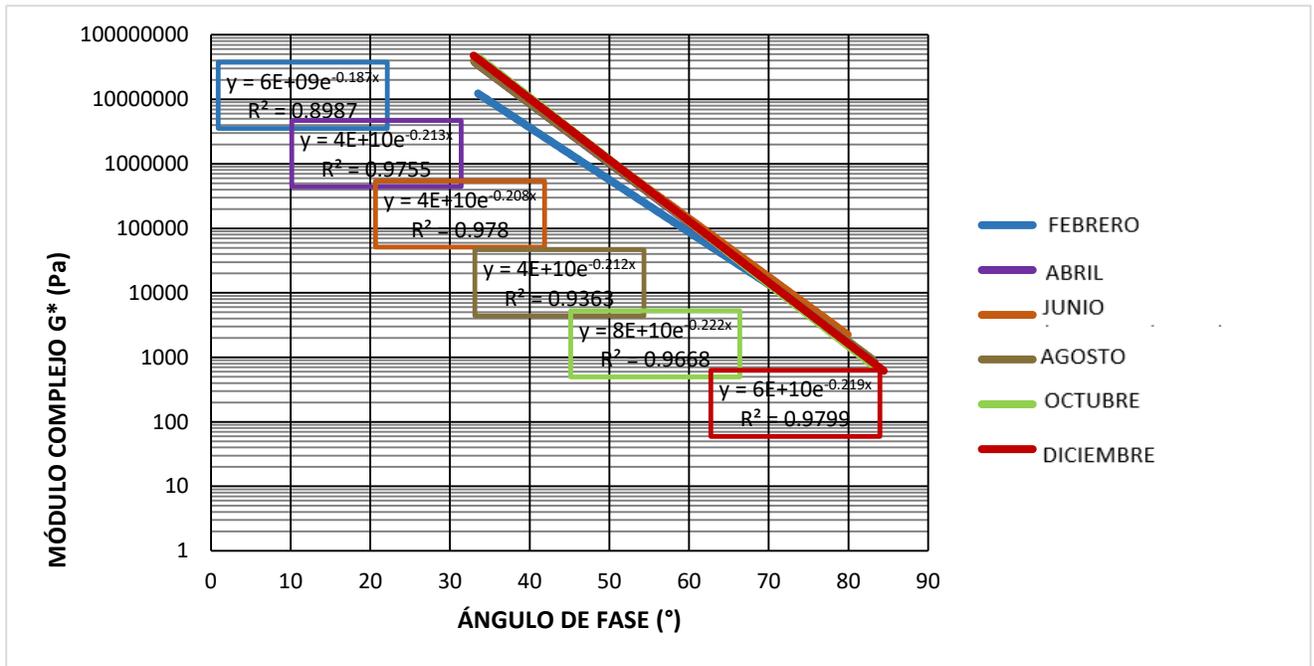
En la Figura 23 se muestra una gráfica comparativa correspondiente al residuo de RTFO y PAV del mes junio 2018 para la barrida de temperatura de 10°C a 70°C.



**Figura 23. Diagrama de Black residuo RTFO y PAV mes de junio 2018**  
**Fuente: Autores**

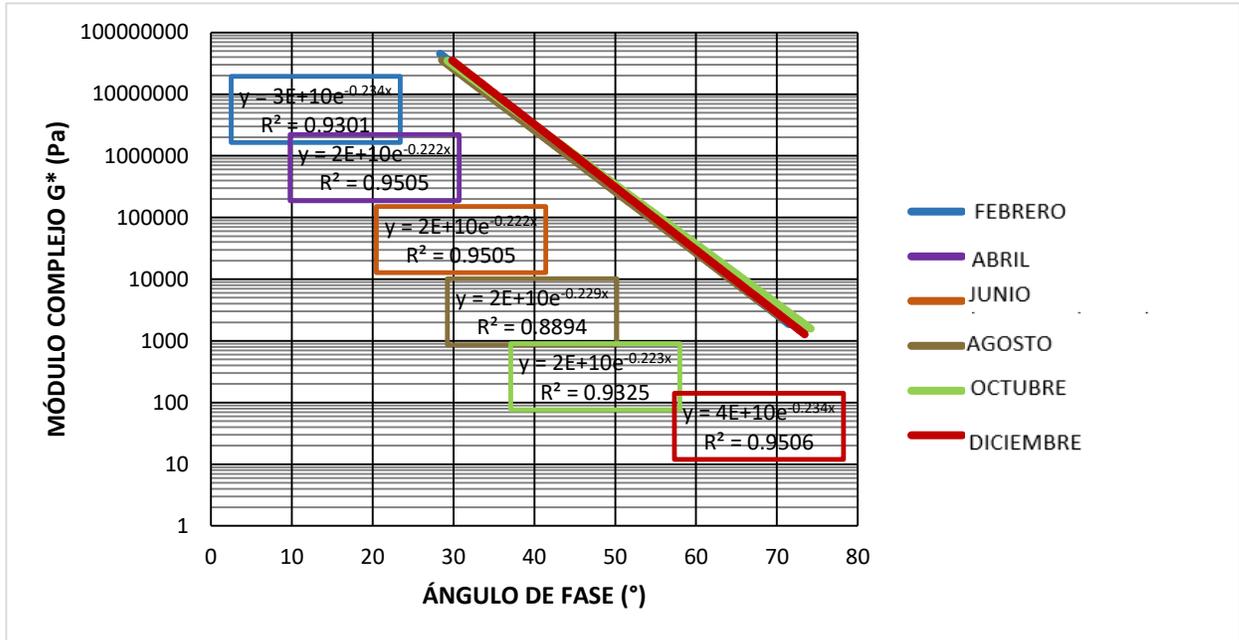
Al comparar el asfalto procedente del residuo RTFO y PAV, el valor de  $G^*$  siempre es mayor en la curva del PAV, haciéndolo más propenso al agrietamiento por ende presenta característica de un asfalto más rígido.

A continuación, se muestra en la Figura 24 un resumen de las variaciones obtenidas en todas las muestras luego del envejecimiento con RTFO.



**Figura 24. Diagramas de Black de las muestras del residuo RTFO**  
Fuente: Autores

En las muestras de asfalto envejecidas con el equipo PAV se obtuvieron los resultados que se resumen en las siguientes Figura 25.



**Figura 25. Diagramas de Black de las muestras del residuo PAV**  
Fuente: Autores

Al observar las curvas de los 6 asfaltos estudiados después del residuo RTFO (ver Figura 24) en el diagrama de Black se mantiene la tendencia que se presentó en las curvas maestras donde todos asfaltos presentan un mismo comportamiento con la particularidad del mes de febrero, que a temperaturas bajas presenta valores de  $G^*$  menores a los demás, mientras que en las temperaturas altas el comportamiento se asemeja al de los demás meses. Siguiendo con el análisis, el comportamiento después del PAV es homogéneo presentando menos diferencia en sus características (ver Figura 25).

Se decidió mostrar el diagrama de Black del mes de junio (ver Figura 23) como representativa a las seis gráficas correspondientes relacionando los valores de RTFO y PAV.

En las estructuras de poco espesor de mezcla asfáltica, donde las deformaciones van a ser grandes, interesa la máxima recuperación elástica, es decir una curva

de relajación rápida. Además, tomando como referencia el criterio Superpave ante el agrietamiento por fatiga, donde se exige:  $G^* \text{Sen}(\delta) \leq 5000$  kPa para asfaltos con envejecimiento secundario (PAV), puede deducirse que un menor  $\delta$  y un menor  $G^*$  serían favorables para prevenir el agrietamiento por fatiga (Jaramillo, J., León, A., Vila, R., & Villao, A., 2017).

Es importante recordar que el asfalto tiene un ángulo de fase muy bajo a baja temperatura del pavimento. Bajo tales condiciones frías, las mediciones de la rigidez y el valor  $m$  con el Reómetro de Viga a Flexión (BBR) son sustitutos razonables para  $G^*$  y ángulo de fase, y las gráficas de rigidez frente al valor  $m$  puede servir como sustitutos para los Diagramas de Black (Anderson, King, Hanson, & Blankenship, 2011).

#### 5.4.3. Resultados de la Temperatura de Transición

Los resultados que se obtuvieron al calcular el punto de transición se presentan en las tablas 11 y 12.

**Tabla 11. Resultados de la Temperatura de Transición residuo del RTFO**

RTFO	
Meses	Temperatura °C
Febrero	23.9
Abril	24.0
Junio	22.2
Agosto	23.4
Octubre	21.4
Diciembre	22.4

**Fuente:** Autores

**Tabla 12. Resultados de la Temperatura de Transición residuo del PAV**

PAV	
Meses	Temperatura °C
Febrero	43.3
Abril	44.5
Junio	40.5
Agosto	44.5
Octubre	41.8
Diciembre	41.2

**Fuente:** Autores

Como podemos observar en la Tabla 11 los resultados de temperatura se encuentran en un rango de 21.4°C a 24°C para residuo RTFO. En la Tabla 12 el rango varía de 40.5 a 44.5 obteniendo valores por encima de 32°C que de acuerdo a varios estudios dicha temperatura se considera el límite máximo para controlar daños por durabilidad.

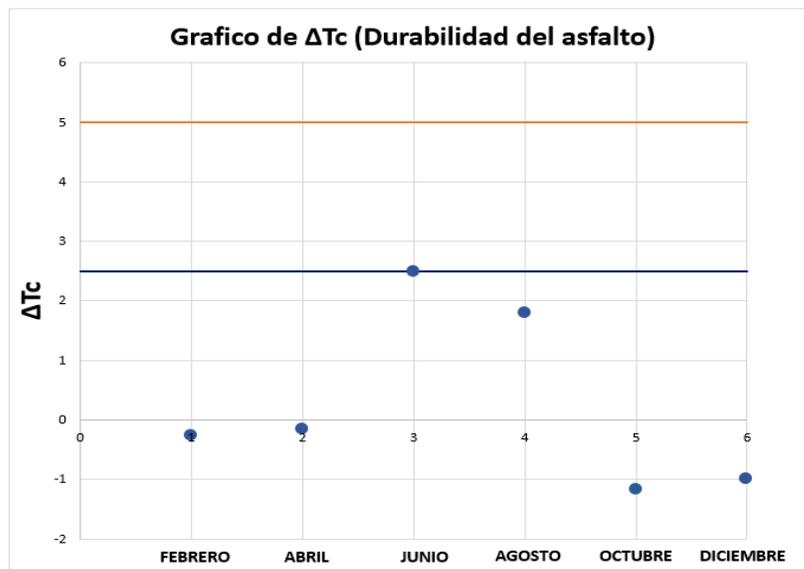
#### **5.4.4. Resultados del parámetro $\Delta T_c$**

Los resultados se presentan en la Tabla 12 y en la Figura 26.

**Tabla 13. Resultados del Parámetro  $\Delta T_c$**

Meses	$\Delta T_c$
Febrero	-0.26109
Abril	-0.15621
Junio	2.48979
Agosto	1.79582
Octubre	-1.16186
Diciembre	-0.99492

**Fuente:** Autores



**Figura 26. Gráfica del parámetro  $\Delta T_c$  de las seis muestras de asfalto ecuatoriano**

**Fuente:** Autores

Se puede observar que los valores de febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre se encuentran por debajo de 2.5, lo cual aparentemente indicaría un buen comportamiento lejos del comienzo de agrietamiento, dentro de los rangos establecidos para las exigencias que existen en el parámetro  $\Delta T_c$ .

## CAPÍTULO IV

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- a. Los resultados de clasificación por grado de viscosidad indican que las muestras no cumplen ni como AC-20 ni AC-30. Ya que no satisfacen las pruebas al residuo después RTFO, lo que tiene implicaciones en el futuro comportamiento de la mezcla con respecto a la rigidización y pérdida de flexibilidad.
- b. Los resultados de clasificación por grado de desempeño (PG) nos indican que todos los asfaltos clasifican como PG 64-28 según Superpave. Obteniendo una discrepancia entre los resultados de ambas clasificaciones, corroborándolo con los investigadores de Superpave que aclaran que aún existen incertidumbres con respecto a las temperaturas intermedias.
- c. El resultado de las curvas maestras de los seis asfaltos se observa que el comportamiento del RTFO y PAV son muy uniformes. Y en la curva maestra del mes junio donde se compara RTFO y PAV, se pudo ver que la curva del residuo PAV pierde elasticidad debido al envejecimiento, aumentando su módulo complejo, siendo más propenso al agrietamiento ya que presenta características de un asfalto más rígido. Al comparar las frecuencias de cruces del residuo RTFO y PAV se puede notar una disminución, mientras que en los índices reológicos se observa un incremento en sus valores, indicando que a medida que el asfalto pasa por un proceso de envejecimiento la curva se volverá plana y por ende dará una rigidización e incremento de fragilidad en el asfalto.
- d. El resultado para las gráficas de diagrama de Black de los 6 asfaltos después del residuo RTFO se comportará de manera muy similar excepto por el mes de febrero que a temperaturas bajas presenta valores de  $G^*$  menores a los demás, mientras que en las temperaturas altas el comportamiento se asemeja al de los demás meses. Las gráficas después

del PAV es homogénea presentando menos diferencia en sus características. De tal manera se puede observar que en ambas graficas el comportamiento del asfalto será más rígido después del envejecimiento PAV.

- e. Los resultados de la temperatura de transición del residuo del PAV arrojaron valores mayores a 40°C, es así que comparándola con la investigación en la que indica un buen desempeño del asfalto a temperaturas por debajo de 32°C después del PAV a 20 horas incumpliendo dicha exigencia.
- f. Para finalizar, los resultados obtenidos del parámetro  $\Delta T_c$  para las seis muestras de asfaltos las ubica en un rango menor a 2.5, correspondiente al límite mínimo permisible, evitando el agrietamiento; que cumplen satisfactoriamente con las exigencias de dicho parámetro.

## **6.2. Recomendaciones**

- Profundizar proyectos de investigación que puedan estudiar ampliamente las controversias existentes entre la clasificación por viscosidad y por grado de desempeño.
- Realizar ensayos que proporcionen parámetros a evaluar en temperaturas intermedias correspondientes a las que existen en el Ecuador.
- Continuar con estudios sobre curvas maestras y diagramas de Black que proporcionen mejor interpretación de las características de los cementos asfálticos y relacionarlo con las fallas que presentan los pavimentos.

## REFERENCIAS

Anderson . (2016).

Anderson, A., Christensen, D., Bahia, H., Dongre, R., Sharma, M., & Antle, C. (1994). *Binder Characterization and Evaluation (3rd ed.)*. .

Anderson, D., Christensen, D., & Bahia, H. (1991). *Physical properties of asphalt cement and the development of performance-related specifications*. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*. .

Anderson, D., Christensen, D. & Bahia, H. (1991). *Physical properties of asphalt cement and the development of performance-related specifications*. *Journal of the Association of Asphalt Paving*.

Anderson, R., King, G., Hanson, D., & Blankenship, P. (2011). *Evaluation of the relationship between asphalt binder properties and non-load related cracking*. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 80.

Araya, F., González, A., Delgadillo, R., Wahr, C., García, G., & Zúñiga, R. (2012). *Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados utilizados actualmente en Chile*. *Ingeniería de Construcción*, 27(3) . 198-210.

Arenas, H. (2006). *Tecnología del cemento asfáltico (5ta ed.)*. Cali: *Fundación para Actividades de Investigación y Desarrollo*. .

*Asphalt Paving Technology 2015 (Vol. 84)*. (2015). Portland, Oregon.

ASTM D6373. (2016). *Standard specification for performance graded asphalt binder*.

Bahia, H., & Anderson, D. (2007). The new proposed rheological properties of asphalt binders: why are they required and how do they compare to conventional properties. Obtenido de The Physical Properties of Asphalt Cement Binders: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=574873>

Bahia, H., & Anderson, D. (2007). The new proposed rheological properties of asphalt binders: why are they required and how do they compare to conventional properties.

Bahia, H., Hanz, K., Kanitpong, K., & Wen , H. (s.f.). *Testing Methods of determine Aggregate/Asphalt Adhesion properties and potential moisture damage*. Madison: Wisconsin Highway Research Program.

- Booshehrian, A., Mogawer, W., & Bonaquist, R. (2013). *How to Construct an Asphalt Binder Master Curve and Assess the Degree of Blending between RAP and Virgin Binders*.
- Booshehrian, A., Mogawer, W., & Bonaquist, R. (2013). How to construct an asphalt binder master curve and assess the degree of blending between rap and virgin Binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- Cardenas, J., & Fonseca, E. (2009). Modelacion del Comportamiento Reologico de Asfalto Convencional y Modificado con Polimero reciclado, estudiada desde la relacion viscosidad-temperatura. *EIA*, 127-129.
- Christensen, D. W., & Anderson, D. A. (1992). *INTERPRETATION OF DYNAMIC MECHANICAL TEST DATA FOR PAVING GRADE ASPHALT CEMENTS (WITH DISCUSSION)*. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 61. Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=486935>.
- Erik T. Lyngdal. (2015). *CRÍTICAL ANALYSIS OF PH AND PG+ ASPHALT BINDER TEST METHODS*. University Of Wisconsin-Madison.
- Gamba González, G., & Mercado Ortega, J. (2004). Concepcion de un ensayo para establecer el efecto de la presion de poro en el deterioro por humedad de las mezclas asfálticas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Huang, S., & Zeng, M. (2007). *Characterization of aging effect on rheological properties of asphalt-filler systems*. *International Journal of Pavement Engineering*, 8. .
- INEN 2515. (2010). *“Productos derivados del petróleo. Cemento asfáltico (clasificación por viscosidad). Requisitos”*. Quito-Ecuador.
- INV E-750-07 DSR. (2017). *Medición De Propiedades Reologicas De Los Ligantes Asfálticos Mediante El Reómetro De Corte Dinámico*.
- Jaramillo, J., León, A., Vila, R., & Villao, A. (2017). Caracterización reológica de asfaltos empleados en Ecuador.
- King et al. (2012).
- M. R. NivithaJ. Murali Krishnan. (2016). *What is Transition Temperature for Bitumen and How to Measure It?* Indian Institute of Technology MadrasChennaiIndia.
- Marasteanu, M. O., & Anderson, D. A. (1999). *Improved model for bitumen rheological characterization*. Eurobitume Workshop on Performance Related Properties for Bituminous Binders.

- Marateanu, M., & Anderson, D. (1996). *TIME-TEMPERATURE DEPENDENCY OF ASPHALT BINDERS—AN IMPROVED MODEL (WITH DISCUSSION)*. Journal of the association of Asphalt Paving Technologists, 65.
- Marquez, F., & Ureta, E. (28 de Febrero de 2018). Estudio del efecto de rejuvenecedores en el asfalto ecuatoriano. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Moraes, R., Velasquez, R., & Bahia, H. (2011). Measuring the effect of moisture on Asphalt-Aggregate bond with the bitumen bond strength. En *In T. R. Academies, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (págs. 70-81). Washington: Transportation Research Board of the National Academies.
- NTE INEN 3030. (2017). *Productos Derivados de Petróleo. Ligante Asfáltico de acuerdo con el grado de desempeño. Requisitos. Quito-Ecuador.*
- Robertson, R. (1991). Chemical properties of asphalt and their relationship to pavement performance. Washington: D.C.: National Research Council.
- Soenen, H. et al, 2000; Bahia, H. et al, 2001; Shenoy, A., 2001; Stuart, K.D. et al, 2002; Tsai, B. et al, 2005 y Walker, D., 2011. (s.f.).
- Universidad Sonora Mexico. (s.f.). *Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y petreos*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>
- Vargas, X., & Reyes, F. (2010). *El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos*. INGENIERIA E INVESTIGACION VOL 30 No. 3.
- Vila Romani, R. (2018). Conferencia . *Cementos asfálticos. Generalidades. Caracterización química, física y reológica*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Vila, R., García, G., Jaramillo, J., & Troya, H. (2016). *ESTUDIO DEL ASFALTO ECUATORIANO A TEMPERATURAS INTERMEDIAS CON LA TECNOLOGÍA SUPERPAVE*. Medellín: XIX CILA.
- Xiao, F., Amirkhanian, S., & Juang, C. (2007). Rutting resistance of rubberized asphalt concrete pavements containing reclaimed asphalt pavement mixtures. *Materials in Civil Engineering*.
- Yin, F. (2012). Hoja de Calculo Curva Maestra. Texas: Universidad Texas A and M.
- Zeng, M., Bahia, H. U., Zhai, H., Anderson, M. R., & Turner, P. (2001). *RHEOLOGICAL MODELING OF MODIFIED ASPHALT BINDERS AND MIXTURES (WITH DISCUSSION)*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 70.

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de la clasificación por viscosidad

 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		 LABORATORIO DE CARRETERAS			
<b>PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS</b>					
<b>Fecha muestreo:</b> 03/02/2018		<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación			
<b>Refinería:</b> Esmeraldas	<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014	<b>Origen:</b>	Tanquero en planta H-H		
<b>Placa:</b> PYO-927		<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG			
<b>RESULTADOS</b>					
PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	257
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	383
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	292
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.013
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			61
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			52.0
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0.2
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1287
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.24
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	32

Resultado de la clasificación por viscosidad febrero



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS

<b>Fecha muestreo:</b> 10/04/2018	<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación		
<b>Refinería:</b> Esmeraldas	<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014	<b>Origen:</b>	Tanquero en planta H-H
<b>Placa:</b> PJU-009	<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG		

### RESULTADOS

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	241
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	388
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	295
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.012
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			62
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			51.0
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0.5
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1534
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.25
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	21

Resultado de la clasificación por viscosidad abril



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS

<b>Fecha muestreo:</b> 07/06/2018	<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación		
<b>Refinería:</b> Esmeraldas	<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014	<b>Origen:</b>	Tanquero en planta H-H
<b>Placa:</b> PYO-927	<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG		

### RESULTADOS

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	237
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	383
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	284
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.013
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			63
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			50.0
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0.6
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1351
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.15
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	31

Resultado de la clasificación por viscosidad junio



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

### PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS

<b>Fecha muestreo:</b> 07/08/2018	<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación		
<b>Refinería:</b> Esmeraldas	<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014	<b>Origen:</b>	Tanquero en planta H-H
<b>Placa:</b> PJU-009	<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG		

#### RESULTADOS

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	210
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	368
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	294
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.012
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			69
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			48.0
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-1.0
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1205
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.26
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	29

Resultado de la clasificación por viscosidad agosto



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS

<b>Fecha muestreo:</b> 04/10/2018	<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación		
<b>Refinería:</b> Esmeraldas	<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014	<b>Origen:</b>	Tanquero en planta H-H
<b>Placa:</b> PJU-526	<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG		

### RESULTADOS

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS
			AC-20	AC-30	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	242
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	381
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	298
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.012
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			65
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			51.0
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0.3
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>					
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1223
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.24
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	30

Resultado de la clasificación por viscosidad octubre



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD PARA ASFALTOS

<b>Fecha muestreo: 13/12/2018</b>		<b>Proyecto:</b> Proyecto de Titulación					
<b>Refinería:</b> Esmeraldas		<b>Norma:</b> INEN 2515 E 1: 2014		<b>Origen:</b> Tanquero en planta H-H			
<b>Placa:</b> PJU-526				<b>Lugar de ensayo:</b> Laboratorio de Carreteras, UCSG			
<b>RESULTADOS</b>							
PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	EXIGENCIAS INEN		RESULTADOS		
			AC-20	AC-30			
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	200 ± 40	300 ± 60	254		
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D 2170	300 mín	350 mín	396		
Punto de inflamación Cleveland	°C	NTE INEN 808	232 mín	232 mín	298		
Solubilidad en tricloroetileno	%	NTE INEN 915	99,0 mín	99,0 mín	NO		
Gravedad específica 25°C/25°C		ASTM D 70	Informar	Informar	1.012		
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s	0,1 mm	ASTM D-5			59		
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D-36			51.0		
Índice de penetración		ASTM D 5/D5M	-1.5 a +1.0	-1.5 a +1.0	-0.6		
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>							
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa.s	ASTM D 2171	800 máx	1200 máx	1470		
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	1.0 máx	1.0 máx	-0.29		
Ductilidad 25°C, 5 cm/min	cm	NTE INEN 916	50 mín	40 mín	27		

Resultado de la clasificación por viscosidad diciembre

## Anexo 2. Resultados de la clasificación por Grado de Desempeño



### PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS

<b>Proyecto:</b> Trabajo de Titulación B-2018	
<b>Muestra:</b> Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)	
<b>Solicitado por:</b> Tesistas	<b>Fecha muestreo:</b> 03/02/2018

#### RESULTADOS

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>				
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	292	
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1287	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 min	135°C	
			46°C	
			52°C	
			58°C	
			64°C	
70°C				
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>				
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 min	46°C	
			52°C	
			58°C	
			64°C	
			70°C	
76°C				
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>				
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C	
			28°C	
			25°C	
			22°C	
			19°C	
			16°C	
			13°C	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	668	
Valor m		0,300 mín	0.241	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	404	
Valor m		0,300 mín	0.286	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	185	
Valor m		0,300 mín	0.319	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>		AASHTO M 320	--	
			<b>64-28</b>	

Resultado de la clasificación PG febrero



**PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS**

<b>Proyecto: Trabajo de Titulación B-2018</b>	
<b>Muestra: Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)</b>	
<b>Solicitado por: Tesistas</b>	<b>Fecha muestreo: 10/04/2018</b>

**RESULTADOS**

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>				
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	295	
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1534	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 mín	135°C	
			46°C	
			52°C	
			58°C	
			64°C	
70°C				
0.56				
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>				
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 mín	46°C	
			52°C	
			58°C	
			64°C	
			70°C	
			76°C	
44.20				
20.50				
9.06				
4.23				
2.05				
-				
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>				
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C	
			28°C	
			25°C	
			22°C	
			19°C	
			16°C	
			13°C	
921				
1360				
1970				
2810				
3950				
5440				
-				
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	366	
Valor m		0,300 mín	0.271	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	222	
Valor m		0,300 mín	0.338	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>				
AASHTO M 320		--	<b>64-28</b>	

Resultado de la clasificación PG abril



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS

<b>Proyecto: Trabajo de Titulación B-2018</b>	
<b>Muestra: Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)</b>	
<b>Solicitado por: Tesistas</b>	<b>Fecha muestreo: 07/06/2018</b>

### RESULTADOS

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>			
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	284
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1351
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 mín	135°C
			46°C
			52°C
			58°C
			64°C
70°C	0.51		
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>			
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 mín	46°C
			52°C
			58°C
			64°C
			70°C
			76°C
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>			
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C
			28°C
			25°C
			22°C
			19°C
			16°C
			13°C
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-
Valor m		0,300 mín	-
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	379
Valor m		0,300 mín	0.266
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	201
Valor m		0,300 mín	0.305
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-
Valor m		0,300 mín	-
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>		AASHTO M 320	--
			<b>64-28</b>

Resultado de la clasificación PG junio



**PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS**

<b>Proyecto: Trabajo de Titulación B-2018</b>	
<b>Muestra: Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)</b>	
<b>Solicitado por: Tesistas</b>	<b>Fecha muestreo: 07/08/2018</b>

**RESULTADOS**

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>				
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	294	
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1205	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 mín	46°C	15.7
			52°C	9.05
			58°C	4.04
			64°C	1.87
			70°C	0.885
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>				
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 mín	46°C	78.6
			52°C	37.1
			58°C	17.2
			64°C	8.43
			70°C	4.09
			76°C	-
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>				
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C	1110
			28°C	1600
			25°C	2260
			22°C	3150
			19°C	4350
			16°C	5950
			13°C	-
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	339	
Valor m		0,300 mín	0.274	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	169	
Valor m		0,300 mín	0.323	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>				
AASHTO M 320		--	<b>64-28</b>	

Resultado de la clasificación PG agosto



**PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS**

<b>Proyecto: Trabajo de Titulación B-2018</b>	
<b>Muestra: Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)</b>	
<b>Solicitado por: Tesistas</b>	<b>Fecha muestreo: 04/10/2018</b>

**RESULTADOS**

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>			
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	298
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1223
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 mín	135°C
			46°C
			52°C
			58°C
			64°C
70°C	0.53		
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>			
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 mín	46°C
			52°C
			58°C
			64°C
			70°C
			76°C
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>			
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C
			28°C
			25°C
			22°C
			19°C
			16°C
			13°C
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-
Valor m		0,300 mín	-
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	388
Valor m		0,300 mín	0.293
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	189
Valor m		0,300 mín	0.320
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	-
Valor m		0,300 mín	-
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>		AASHTO M 320	--
			<b>64-28</b>

Resultado de la clasificación PG octubre



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL



LABORATORIO  
DE CARRETERAS

## PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA ASFALTOS

<b>Proyecto: Trabajo de Titulación B-2018</b>	
<b>Muestra: Cemento asfáltico de Esmeraldas (100%)</b>	
<b>Solicitado por: Tesistas</b>	<b>Fecha muestreo: 13/12/2018</b>

### RESULTADOS

PROPIEDAD	MÉTODO	EXIGIDO	RESULTADOS	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>				
Punto de inflamación, °C	AASHTO T 48	230 min	298	
Viscosidad, cP	AASHTO T 316	3000 max	1470	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	1,0 mín	46°C	21.5
			52°C	9.23
			58°C	4.00
			64°C	1.78
			70°C	0.864
76°C	-			
<b>RESIDUO RTFOT (163°C, 85 min)</b>				
Pérdida de masa, %	AASHTO T 240	1,0 máx	-	
Módulo de Corte Dinámico (G*/sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	2,2 mín	46°C	63.8
			52°C	30.1
			58°C	13.8
			64°C	6.53
			70°C	3.16
76°C	1.53			
<b>RESIDUO ENVEJECIDO PAV (100°C, 20 hr)</b>				
Módulo de Corte Dinámico (G* x sinδ, 10 rad/seg), kPa	AASHTO T 315	5000 máx	31°C	583
			28°C	880
			25°C	1320
			22°C	1940
			19°C	2810
			16°C	3970
13°C	5470			
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)	AASHTO T 313	300 máx	579	
Valor m		0,300 mín	0.231	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	362	
Valor m		0,300 mín	0.294	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	183	
Valor m		0,300 mín	0.327	
Rigidez al desplazamiento, Mpa (60 sec)		300 máx	-	
Valor m		0,300 mín	-	
<b>GRADO PG SUPERPAVE</b>	AASHTO M 320	--	<b>64-28</b>	

Resultado de la clasificación PG diciembre

## Anexo 3. Resultados del programa Bohlin TruGrade del Equipo BBR

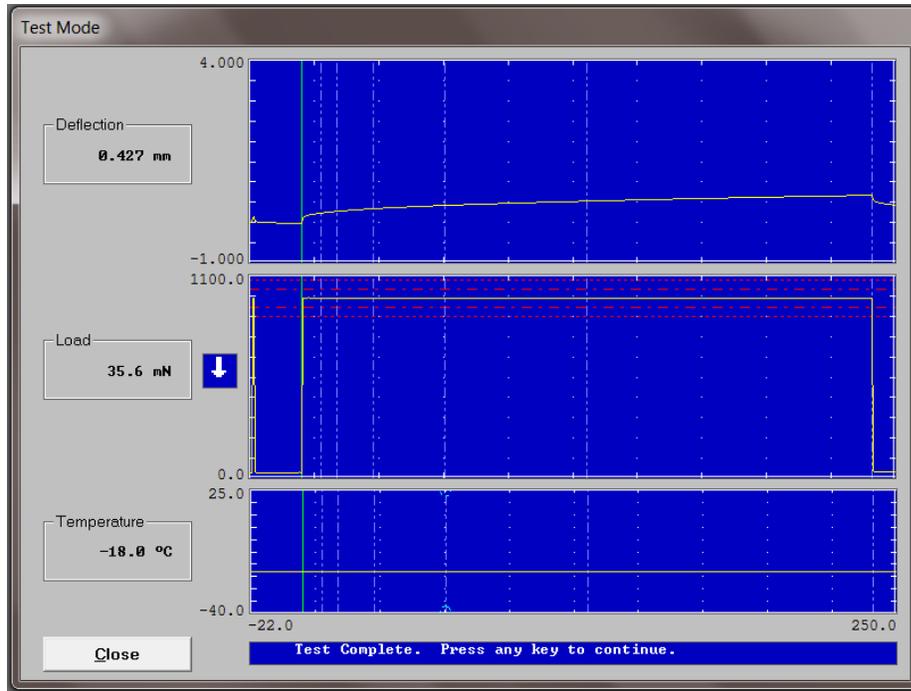


Gráfico del Asfalto del mes de febrero (-18°C)

Test Summary Report

-----

Test Identification

-----

Operator: KK  
 Start Time: 27-Nov-2018 at 13:27:11  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS9  
 Specimen Number: 9  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: TESIS9.S9.

-----

Test Results

-----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	33.8	0.0151	--	--	--	--
0.5	979.4	0.1060	--	--	--	--
8.0	979.6	0.2361	331.8919	331.7185	-0.052258	0.258676
15.0	979.4	0.2798	280.0446	280.2867	0.086443	0.277346
30.0	979.0	0.3411	229.6239	229.6225	-0.000573	0.297932
60.0	979.0	0.4223	185.4801	185.4511	-0.015667	0.318519 *
120.0	977.4	0.5293	147.7375	147.6546	-0.056057	0.339105
240.0	976.6	0.6744	115.8515	115.8958	0.038188	0.359692
250.0	35.6	0.4274	--	--	--	--

-----

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.999999

Print      Exit

Informe 1 Asfalto del mes de febrero (-18°C)

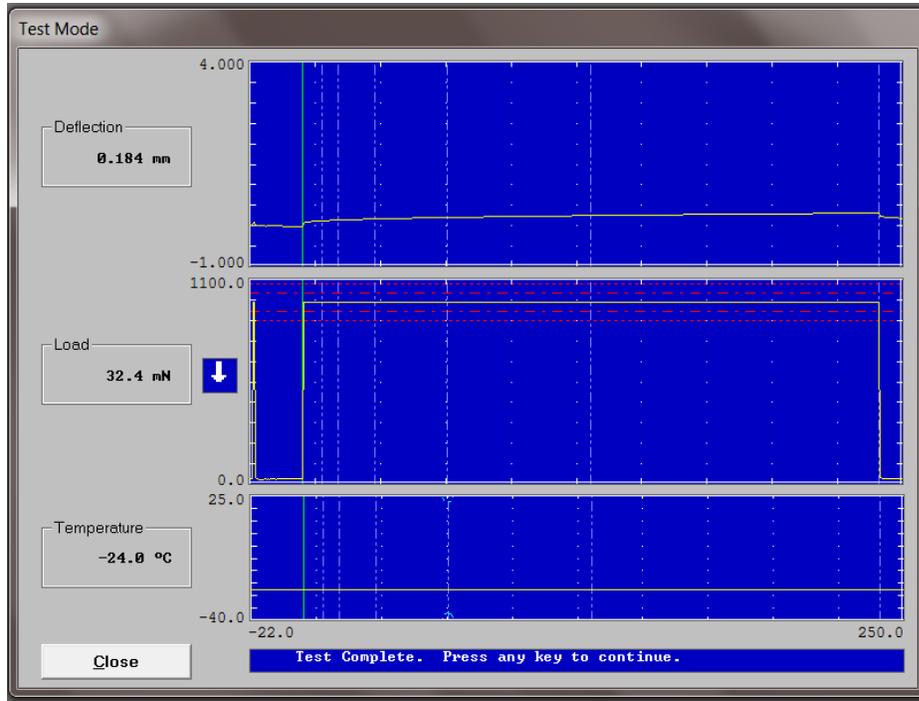


Gráfico del Asfalto del mes de febrero (-24°C)

Test Summary Report

Test Identification

Operator: KK  
 Start Time: 26-Nov-2018 at 13:29:42  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS7  
 Specimen Number: 7  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.30 mm  
 File Name: TESIS7.S7

Test Results

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	28.8	0.0086	--	--	--	--
0.5	978.7	0.0656	--	--	--	--
8.0	978.3	0.1223	671.1618	670.9783	-0.027353	0.217237
15.0	977.9	0.1413	580.3345	581.4062	0.184681	0.238649
30.0	977.7	0.1671	490.6024	488.7486	-0.377866	0.262259
60.0	977.2	0.2035	403.0146	404.1887	0.291329	0.285869 *
120.0	977.8	0.2493	328.9971	328.8331	-0.049858	0.309478
240.0	979.2	0.3120	263.2357	263.1841	-0.019604	0.333088
250.0	32.4	0.1837	--	--	--	--

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999786

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de febrero(-24°C)

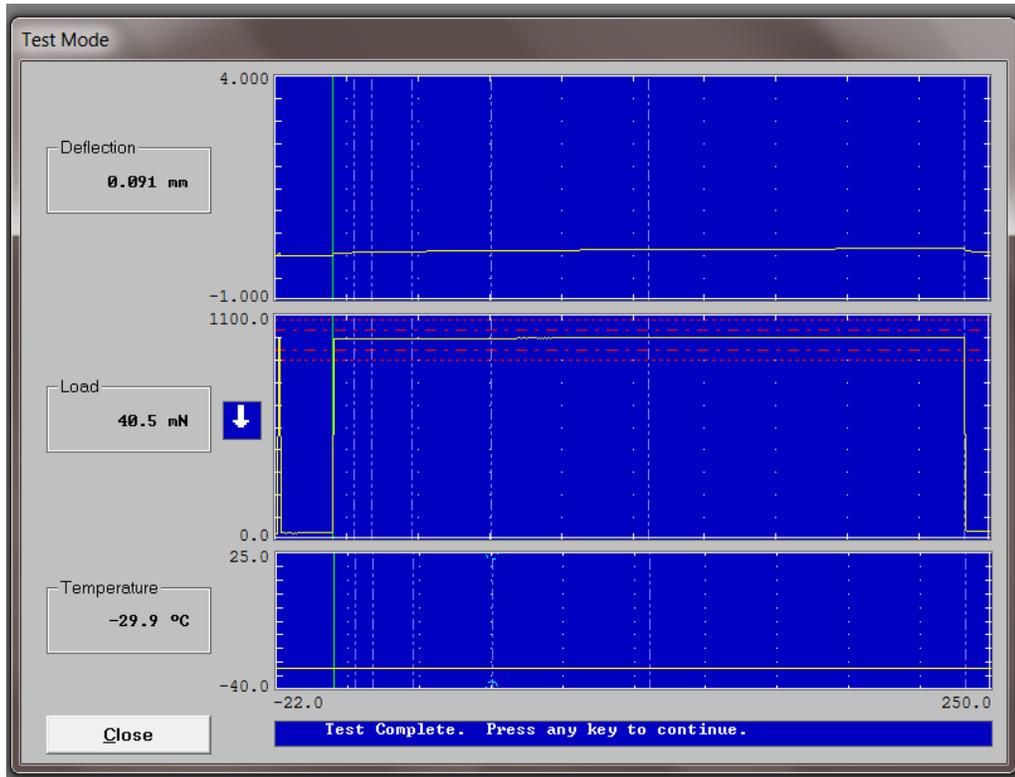


Gráfico del Asfalto del mes de febrero (-30°C)

Test Summary Report

=====  
**Test Identification**  
 =====

Operator: KK  
 Start Time: 03-Dec-2018 at 13:43:24  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS15  
 Specimen Number: 15  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: TESIS15.S15

=====  
**Test Results**  
 =====

t Time <sec>	P Load <mN>	d Defl <mm>	Measured Stiffness <MPa>	Estimated Stiffness <MPa>	Difference <%>	m-value
0.0	35.0	0.0060	--	--	--	--
0.5	981.2	0.0499	--	--	--	--
8.0	981.9	0.0778	1010.1920	1008.8890	-0.128946	0.167862
15.0	982.0	0.0874	898.6227	901.3677	0.305461	0.190682
30.0	984.1	0.1004	784.3669	782.9130	-0.185355	0.215845
60.0	985.0	0.1179	668.5113	668.2672	-0.036591	0.241009 *
120.0	988.1	0.1411	560.3062	560.5468	0.042939	0.266172
240.0	991.2	0.1716	462.0454	462.0603	0.003230	0.291335
250.0	40.5	0.0912	--	--	--	--

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.999983

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de febrero (-30°C)

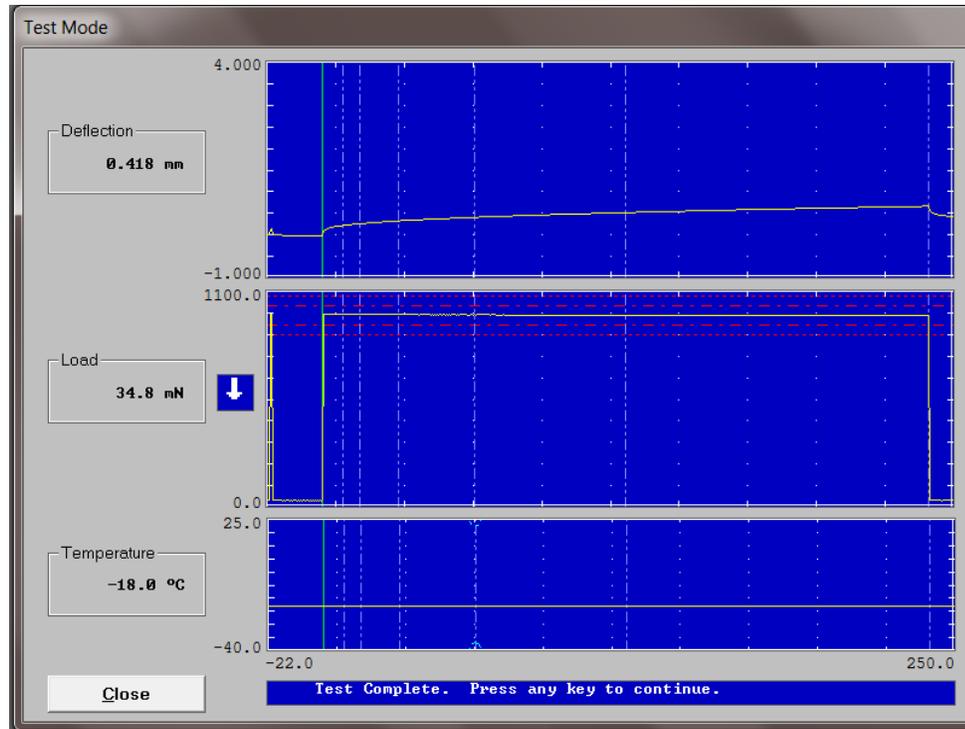


Gráfico del Asfalto del mes de abril (-18°C)

Test Summary Report

-----

Test Identification

-----

Operator: kk  
 Start Time: 23-Nov-2018 at 13:54:25  
 Test Type: BBR Specimen test  
 Project ID: tesis6  
 Specimen Number: 6  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.10 mm  
 File Name: tesis6.S6

-----

Test Results

-----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	34.5	0.0323	--	--	--	--
0.5	985.1	0.0887	--	--	--	--
8.0	982.4	0.2174	417.5301	417.3573	-0.041395	0.286810
15.0	981.4	0.2617	346.5517	346.7511	0.057546	0.302859
30.0	981.0	0.3245	279.3022	279.3731	0.025396	0.320556
60.0	980.8	0.4075	222.3977	222.3432	-0.024484	0.338253 *
120.0	979.1	0.5173	174.8925	174.7978	-0.054144	0.355950
240.0	977.6	0.6657	135.6936	135.7440	0.037134	0.373647
250.0	34.8	0.4176	--	--	--	--

-----

Correlation Coefficient R^2 = 0.9999994

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de abril (-18°C)

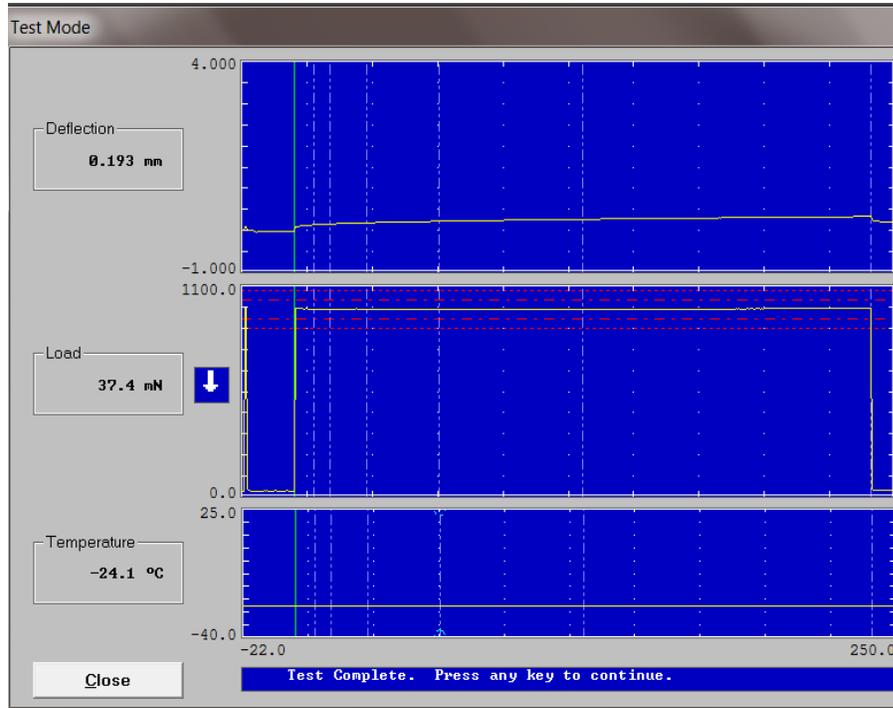


Gráfico del Asfalto del mes de abril (-24°C)

Test Summary Report

=====  
**Test Identification**  
 =====

Operator: KK  
 Start Time: 20-Nov-2018 at 13:56:14  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS KK  
 Specimen Number: 1  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.34 mm  
 File Name: TESIS KK.S1

=====  
**Test Results**  
 =====

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	n-value
0.0	33.4	0.0331	--	--	--	--
0.5	981.6	0.0772	--	--	--	--
8.0	979.6	0.1359	593.2579	592.3530	-0.152535	0.206720
15.0	979.1	0.1563	515.4528	516.9197	0.284589	0.226666
30.0	979.7	0.1838	438.5464	438.4092	-0.031280	0.248659
60.0	979.3	0.2198	366.7401	366.1976	-0.147926	0.270652 *
120.0	978.7	0.2674	301.2459	301.2526	0.002231	0.292645
240.0	982.0	0.3312	243.9651	244.0762	0.045566	0.314639
250.0	37.4	0.1925	--	--	--	--

=====  
 Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999884

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de abril (-24°C)

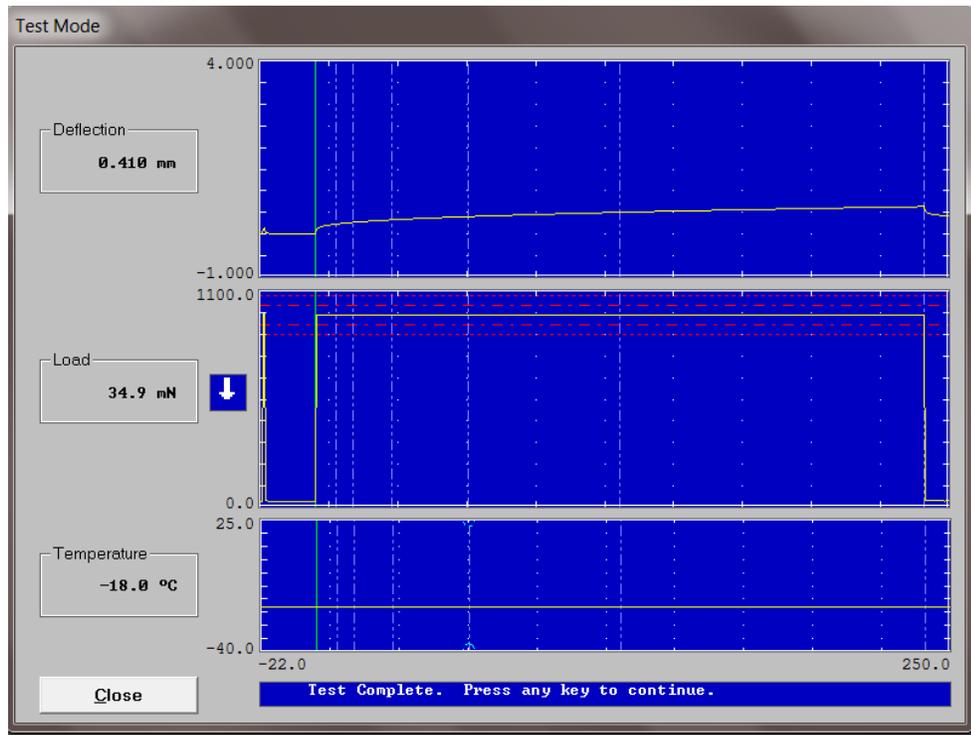


Gráfico del Asfalto del mes de junio (-18°C)

Test Summary Report

-----  
**Test Identification**  
 -----  
 Operator: KK  
 Start Time: 22-Nov-2018 at 14:55:09  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: Tesis  
 Specimen Number: 04  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.30 mm  
 File Name: Tesis.S04  
 -----

**Test Results**  
 -----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	33.0	0.0006	--	--	--	--
0.5	978.9	0.1218	--	--	--	--
8.0	978.0	0.2335	351.2588	350.8641	-0.112351	0.245488
15.0	977.5	0.2747	298.4068	298.9271	0.174374	0.264206
30.0	976.7	0.3317	246.9734	247.1296	-0.063262	0.284845
60.0	976.9	0.4062	201.7230	201.4055	-0.157405	0.305485 *
120.0	976.0	0.5058	161.8420	161.8097	-0.019949	0.326124
240.0	975.1	0.6385	128.0847	128.1519	0.052444	0.346764
250.0	34.9	0.4098	--	--	--	--

-----  
 Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999948  
 -----

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de junio (-18°C)

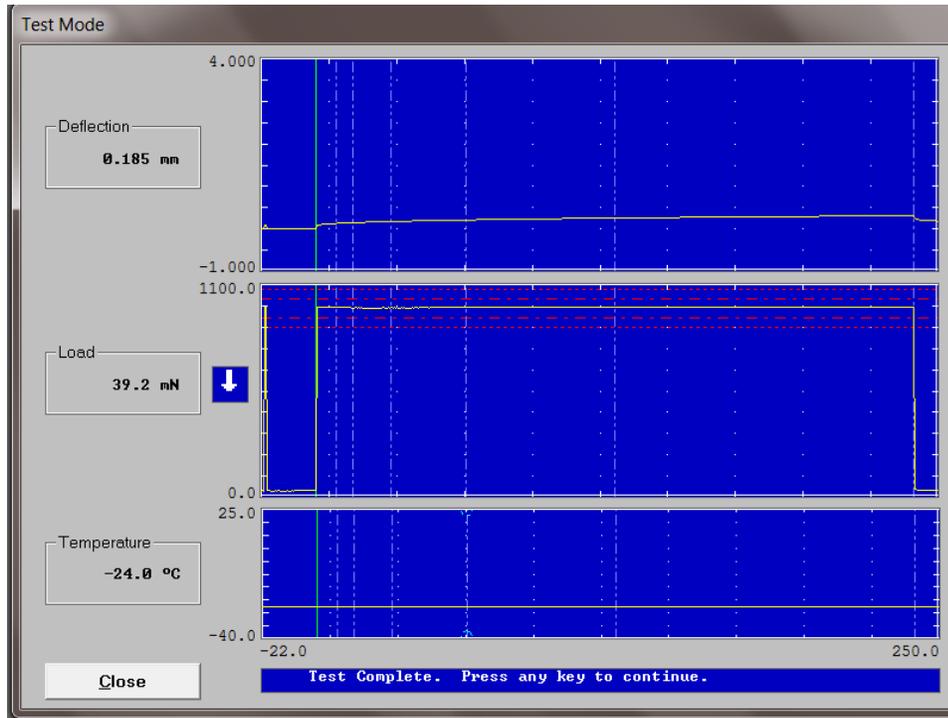


Gráfico del Asfalto del mes de junio (-24°C)

Test Summary Report

=====  
**Test Identification**  
 =====

Operator: kk  
 Start Time: 20-Nov-2018 at 14:33:07  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: tesis2  
 Specimen Number: 2  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.35 mm  
 File Name: tesis2.S2

=====  
**Test Results**  
 =====

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	34.4	0.0004	--	--	--	--
0.5	982.2	0.0780	--	--	--	--
8.0	980.7	0.1318	609.4617	608.9043	-0.091459	0.203668
15.0	980.2	0.1511	531.5383	532.4641	0.174155	0.223135
30.0	980.6	0.1774	452.8552	452.7820	-0.016153	0.244600
60.0	981.5	0.2117	379.7878	379.3380	-0.118428	0.266066 *
120.0	982.1	0.2570	312.9931	313.1134	0.038432	0.287531
240.0	983.0	0.3162	254.5983	254.6333	0.013724	0.308997
250.0	39.2	0.1847	--	--	--	--

=====  
 Correlation Coefficient R^2 = 0.9999949

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de junio (-24°C)

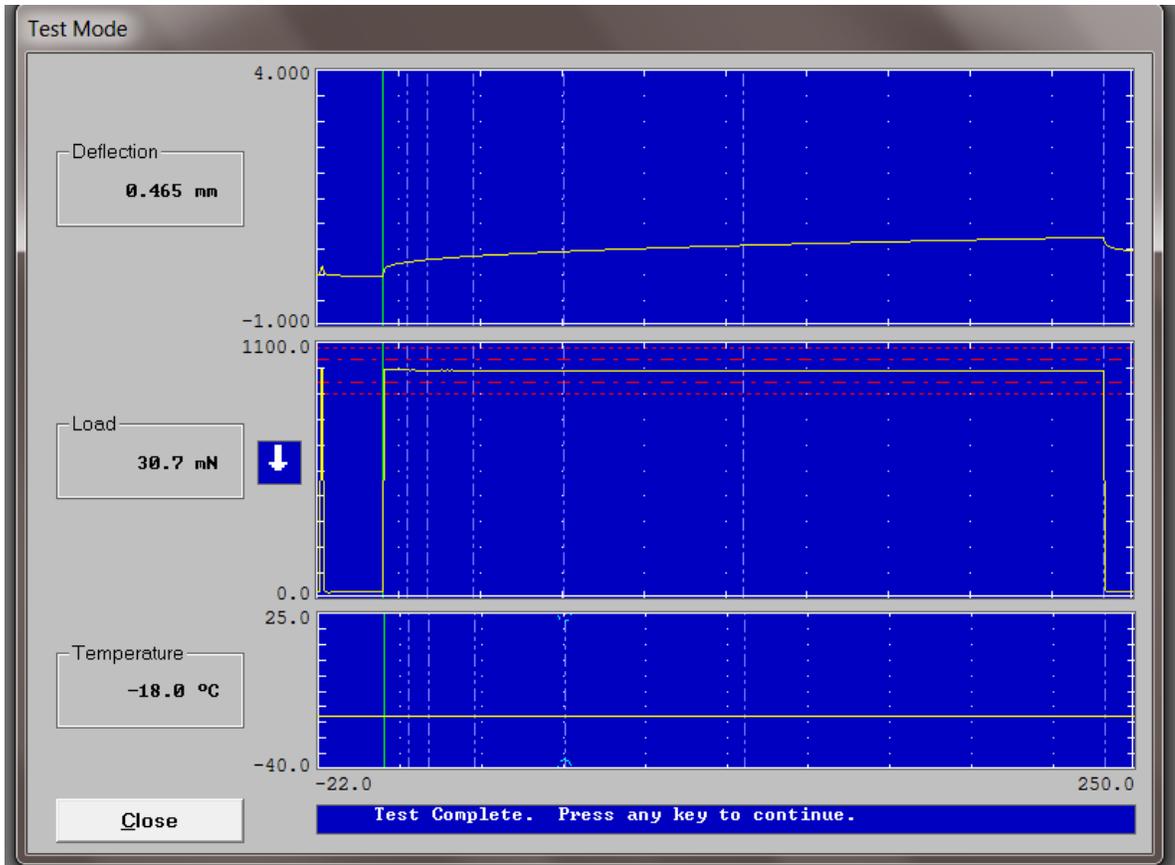


Gráfico del Asfalto del mes de agosto (-18°C)

Test Summary Report

---

**Test Identification**

---

Operator: KK  
 Start Time: 29-Nov-2018 at 13:17:58  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS12  
 Specimen Number: 12  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: TESIS12.S12

---

**Test Results**

---

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	30.3	0.0255	--	--	--	--
0.5	983.5	0.1126	--	--	--	--
8.0	981.0	0.2552	307.5331	307.4301	-0.033503	0.269003
15.0	980.0	0.3038	258.0454	258.2344	0.073241	0.285809
30.0	979.3	0.3721	210.5605	210.4688	-0.043530	0.304341
60.0	979.3	0.4627	169.3279	169.3491	0.012524	0.322872 *
120.0	977.6	0.5813	134.5546	134.5238	-0.022859	0.341404
240.0	977.1	0.7411	105.4813	105.4962	0.014174	0.359936
250.0	30.7	0.4647	--	--	--	--

---

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999994

Print      Exit

Informe 1 Asfalto del mes de agosto (-18°C)

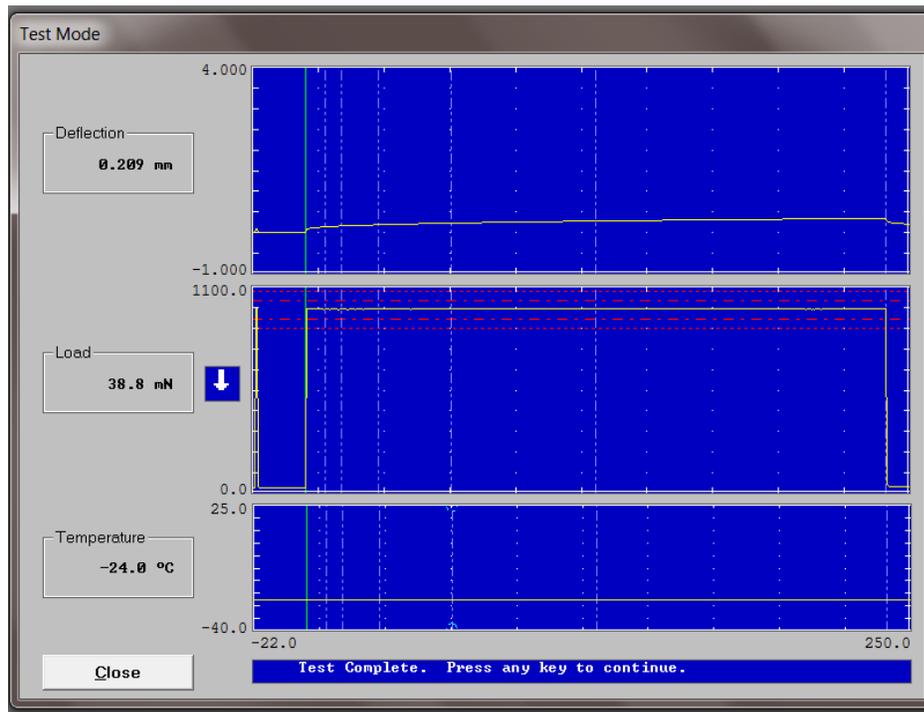


Gráfico del Asfalto del mes de agosto (-24°C)

Test Summary Report

-----

Test Identification

-----

Operator: kk  
 Start Time: 29-Nov-2018 at 15:56:13  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: tesis13  
 Specimen Number: 13  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: tesis13.S13

-----

Test Results

-----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	32.5	0.0023	--	--	--	--
0.5	983.3	0.0815	--	--	--	--
8.0	981.0	0.1416	554.3463	554.5159	0.030596	0.213303
15.0	981.4	0.1629	482.1115	482.0495	-0.012856	0.232279
30.0	981.2	0.1925	407.7088	407.3983	-0.076144	0.253203
60.0	981.8	0.2315	339.3080	339.3501	0.012428	0.274128 *
120.0	982.0	0.2823	278.3057	278.5980	0.105036	0.295052
240.0	981.9	0.3483	225.5617	225.4287	-0.058953	0.315976
250.0	38.8	0.2085	--	--	--	--

-----

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999981

Print      Exit

Informe 1 Asfalto del mes de agosto (-24°C)

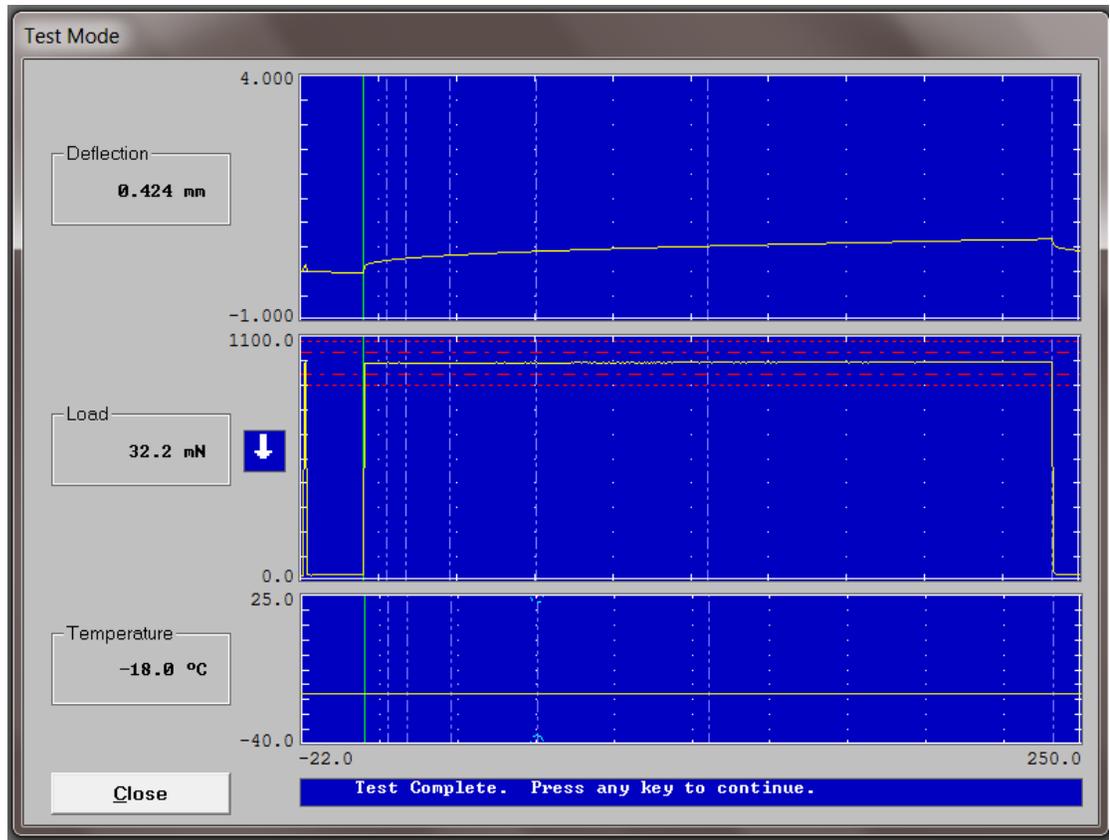


Gráfico del Asfalto del mes de octubre (-18°C)

Test Summary Report

-----

Test Identification

-----

Operator: kk  
 Start Time: 29-Nov-2018 at 12:56:21  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: tesis11  
 Specimen Number: 11  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: tesis11.S11

-----

Test Results

-----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	29.2	0.0122	--	--	--	--
0.5	980.1	0.1101	--	--	--	--
8.0	979.7	0.2311	339.1794	338.8515	-0.096673	0.260371
15.0	980.0	0.2744	285.7381	286.0073	0.094205	0.279057
30.0	980.0	0.3356	233.6299	234.0300	0.171243	0.299661
60.0	980.5	0.4149	189.0688	188.7832	-0.151043	0.320265 *
120.0	981.1	0.5223	150.2947	150.1249	-0.112959	0.340869
240.0	981.8	0.6680	117.5776	117.6901	0.095689	0.361473
250.0	32.2	0.4237	--	--	--	--

-----

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999942

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de octubre (-18°C)

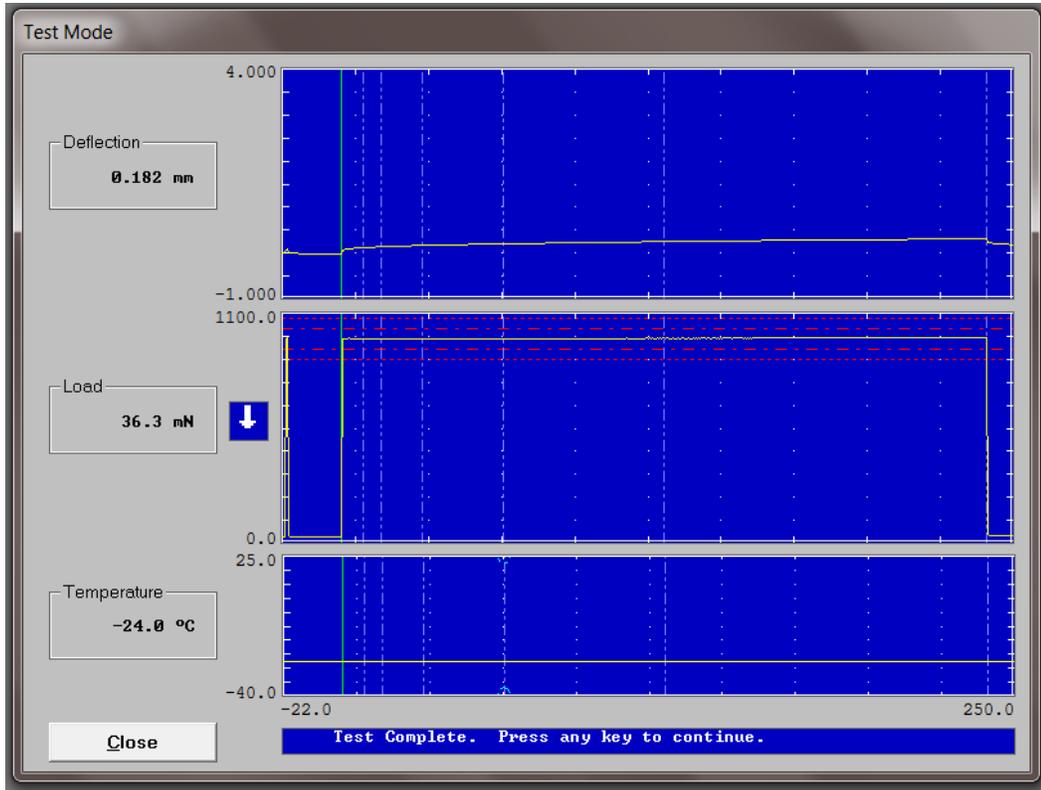


Gráfico del Asfalto del mes de octubre (-24°C)

Test Summary Report

-----

Test Identification

-----

Operator: KK  
 Start Time: 26-Nov-2018 at 14:02:37  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS8  
 Specimen Number: 8  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: TESIS8.S8

-----

Test Results

-----

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	32.6	0.0178	--	--	--	--
0.5	980.4	0.0623	--	--	--	--
8.0	979.2	0.1192	657.0188	657.2276	0.031782	0.230578
15.0	979.0	0.1385	565.4246	565.0603	-0.064419	0.250160
30.0	979.3	0.1662	471.5456	471.5625	0.003580	0.271752
60.0	979.5	0.2023	387.4128	387.6892	0.071330	0.293345 *
120.0	980.4	0.2497	314.1607	313.9989	-0.051503	0.314937
240.0	981.9	0.3136	250.5142	250.5374	0.009295	0.336530
250.0	36.3	0.1823	--	--	--	--

-----

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.999999

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de octubre (-24°C)

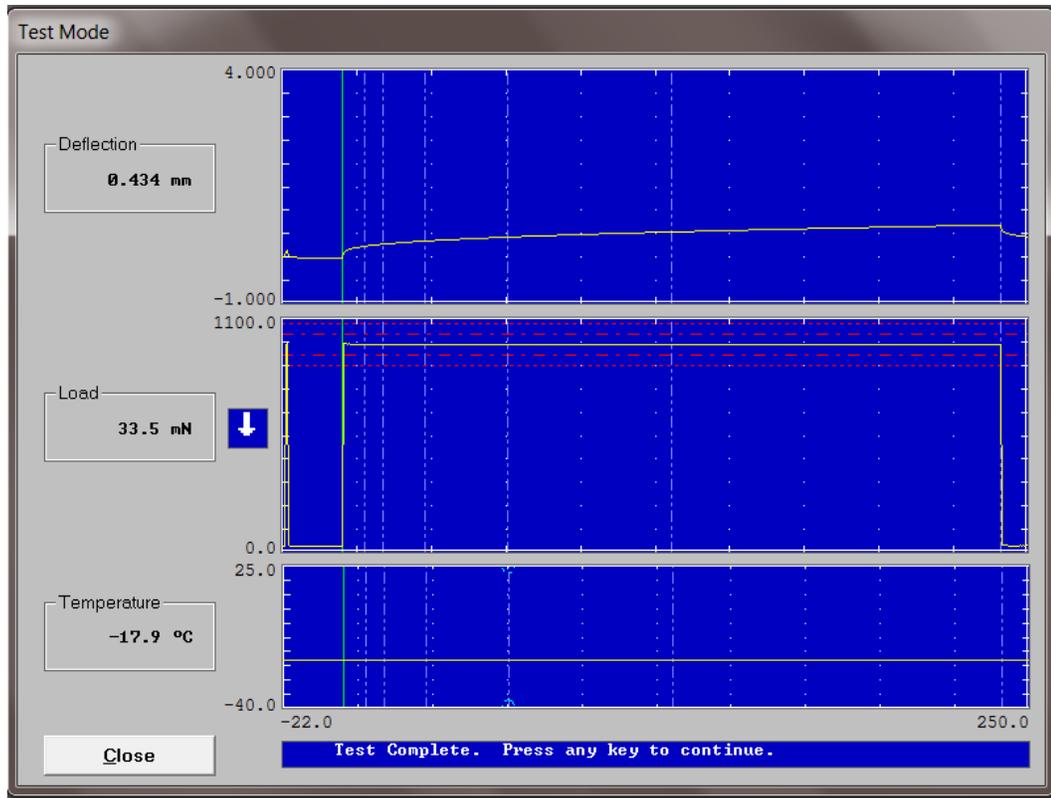


Gráfico del Asfalto del mes de diciembre (-18°C)

Test Summary Report

---

**Test Identification**

---

Operator: KK  
 Start Time: 10-Jan-2019 at 14:39:29  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: TESIS 20  
 Specimen Number: 1  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: TESIS 20.S1

---

**Test Results**

---

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	n-value
0.0	30.7	0.0287	--	--	--	--
0.5	981.3	0.0991	--	--	--	--
8.0	979.6	0.2323	337.3299	337.1152	-0.063641	0.280089
15.0	978.6	0.2785	281.1065	281.3868	0.099731	0.294813
30.0	978.8	0.3433	228.0648	228.0932	0.012465	0.311050
60.0	978.2	0.4229	182.8702	182.8240	-0.025264	0.327286 *
120.0	976.9	0.5390	145.0056	144.8995	-0.073179	0.343522
240.0	976.9	0.6886	113.4999	113.5567	0.050001	0.359758
250.0	33.5	0.4337	--	--	--	--

---

Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999987

Print      Exit

Informe 1 Asfalto del mes de diciembre (-18°C)

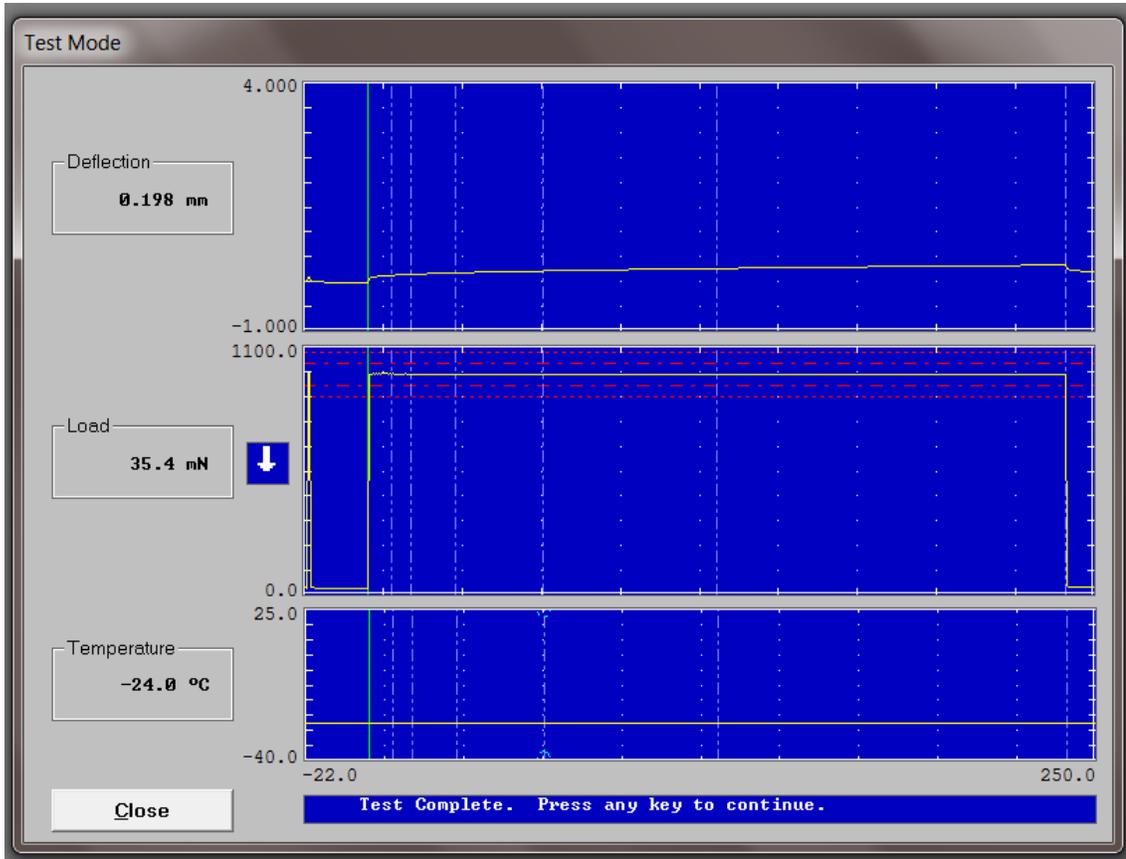


Gráfico del Asfalto del mes de diciembre (-24°C)

Test Summary Report

=====  
 Test Identification  
 =====

Operator: kk  
 Start Time: 10-Jan-2019 at 16:14:51  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: tesis 22  
 Specimen Number: 2  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: tesis 22.S2

=====  
 Test Results  
 =====

t Time (sec)	P Load (mN)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (MPa)	Estimated Stiffness (MPa)	Difference (%)	m-value
0.0	33.4	0.0169	--	--	--	--
0.5	979.8	0.0654	--	--	--	--
8.0	980.1	0.1275	615.2211	614.5427	-0.110265	0.231406
15.0	980.2	0.1486	527.6176	528.0949	0.090474	0.250937
30.0	978.9	0.1782	439.4799	440.4850	0.228701	0.272472
60.0	979.5	0.2161	362.5832	361.9658	-0.170263	0.294007 *
120.0	979.5	0.2670	293.5197	293.0362	-0.164743	0.315542
240.0	979.7	0.3358	233.4220	233.7180	0.126820	0.337078
250.0	35.4	0.1982	--	--	--	--

=====  
 Correlation Coefficient R<sup>2</sup> = 0.9999891

Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de diciembre (-24°C)

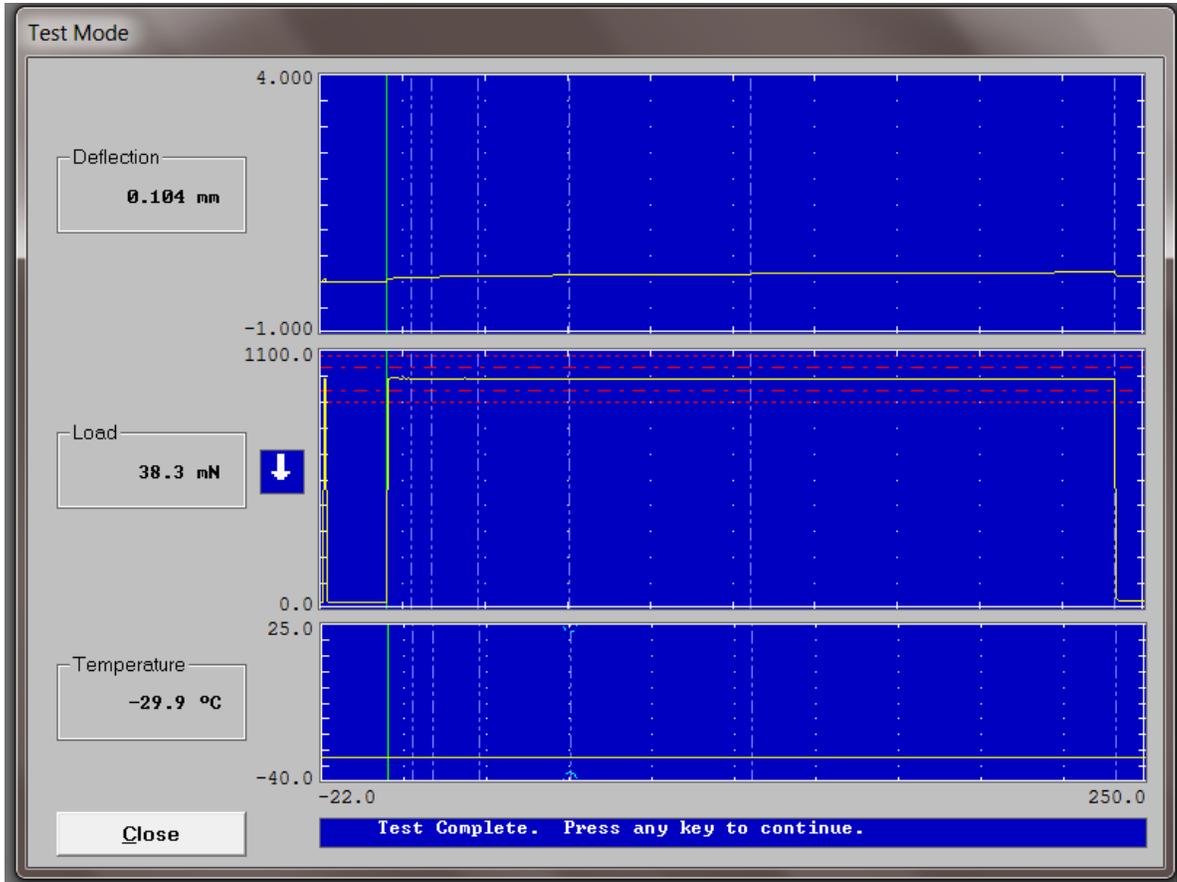


Gráfico del Asfalto del mes de diciembre (-30°C)

Test Summary Report

=====  
**Test Identification**  
 =====

Operator: kk  
 Start Time: 14-Jan-2019 at 14:02:19  
 Test Type: BBR Specimen Test  
 Project ID: tesis 23  
 Specimen Number: 2  
 Specimen Dimensions: 102.00 mm x 12.65 mm x 6.40 mm  
 File Name: tesis 23.S2

=====  
**Test Results**  
 =====

t Time <sec>	P Load <mN>	d Defl <mm>	Measured Stiffness <MPa>	Estimated Stiffness <MPa>	Difference <%>	m-value
0.0	32.7	0.0015	--	--	--	--
0.5	979.8	0.0616	--	--	--	--
8.0	980.1	0.0912	859.7078	858.8736	-0.097038	0.160749
15.0	979.9	0.1018	770.1013	770.9658	0.112248	0.182796
30.0	979.8	0.1165	672.6941	673.5174	0.122382	0.207107
60.0	979.6	0.1353	579.1880	578.5545	-0.109380	0.231418 *
120.0	979.2	0.1601	489.2652	488.6765	-0.120324	0.255728
240.0	978.9	0.1931	405.4890	405.8639	0.092472	0.280039
250.0	38.3	0.1041	--	--	--	--

=====  
 Correlation Coefficient R^2 = 0.999991

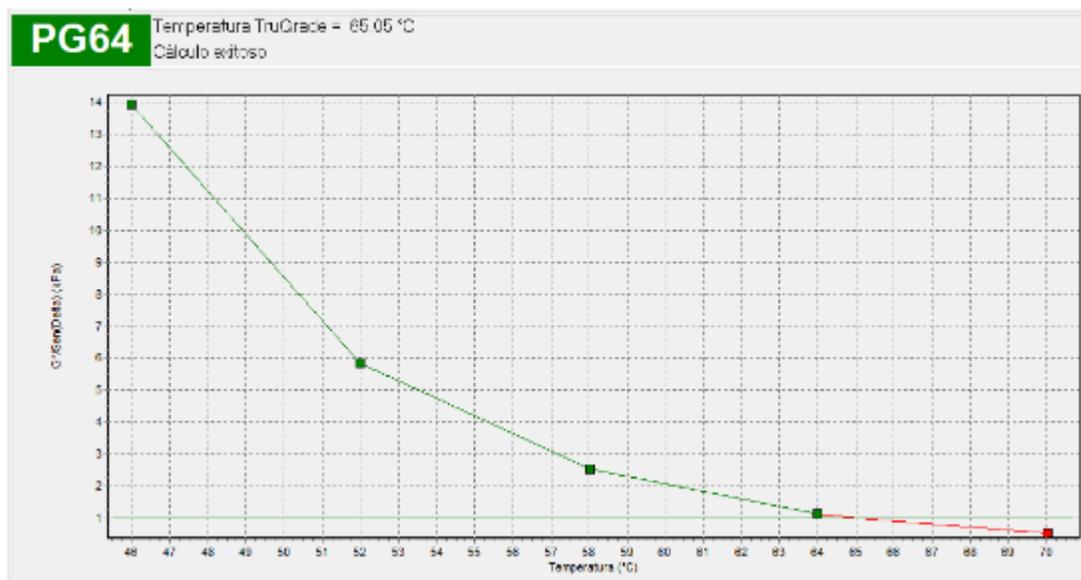
Print Exit

Informe 1 Asfalto del mes de diciembre (-30°C)

## Anexo 4. Resultados del programa Bohlin TruGrade del Equipo DSR

Grade Results					
<b>PG64</b>	Temperatura TruGrade = 65.05 °C				
	Cálculo exitoso				
	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	13.9	5.84	2.54	1.14	0.537
Notas					
Angulo de fase (°)	72.0	75.7	78.9	81.5	83.3
Módulo complejo (kPa)	13.3	5.66	2.49	1.13	0.533
Temperatura (°C)	46.00	51.99	58.01	64.00	70.03
Deformación (%)	11.95	11.96	12.03	12.05	12.04
Esfuerzo cortante (Pa)	1582.62	675.379	298.42	135.236	63.8077
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

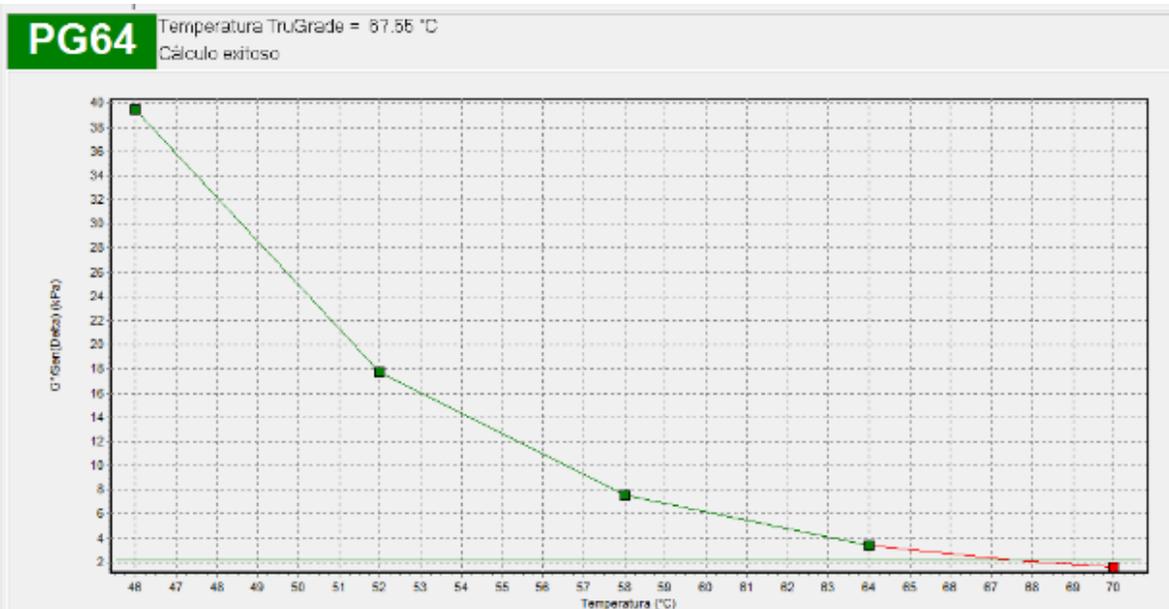
Asfalto de febrero (ORIGINAL)



Gráfica de Asfalto de febrero (ORIGINAL)

<b>PG64</b>		Temperatura TruGrade = 67.55 °C Cálculo exitoso				
	1	2	3	4	5	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*/Sen(Delta) (kPa)	39.5	17.8	7.55	3.42	1.63	
Notas	21					
Angulo de fase (°)	61.3	64.9	69.4	73.1	76.4	
Módulo complejo (kPa)	34.6	16.1	7.06	3.27	1.58	
Temperatura (°C)	46.01	52.00	58.01	64.00	69.99	
Deformación (%)	9.41	10.15	9.58	10.03	9.94	
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.76	1632.98	674.989	326.556	155.995	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

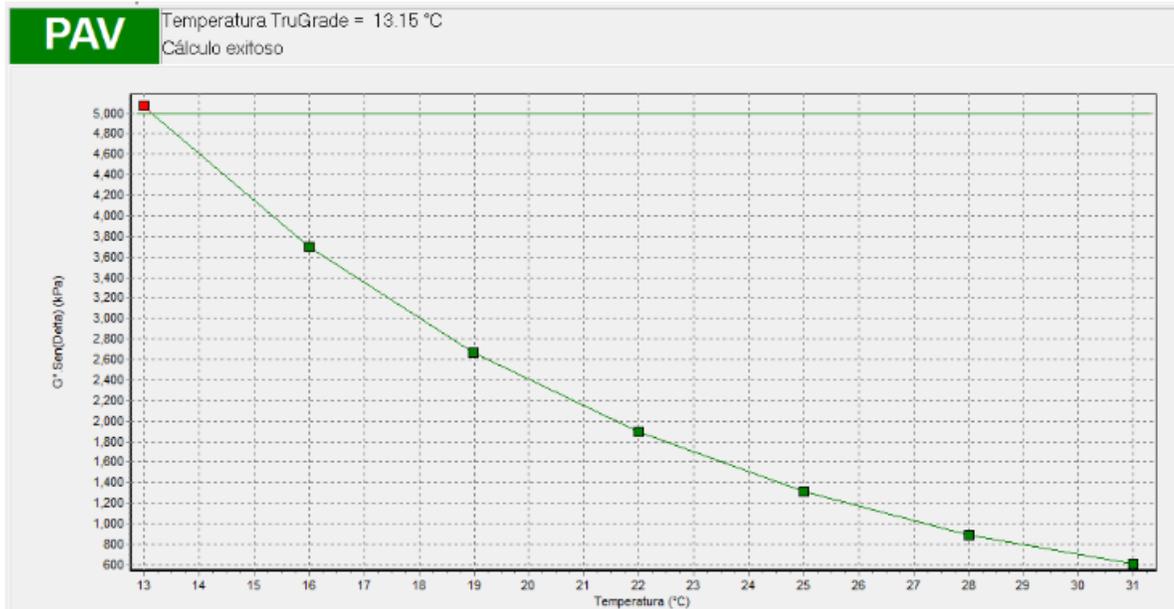
Asfalto de febrero (RTFOT)



Gráfica de Asfalto de febrero (RTFOT)

<b>PAV</b>		Temperatura TruGrade = 13.15 °C						
		Cálculo exitoso						
	1	2	3	4	5	6	7	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*.Sen(Delta) (kPa)	605	893	1.31E3	1.89E3	2.67E3	3.7E3	5.08E3	
Notas								
Angulo de fase (°)	45.5	43.5	41.6	39.6	37.7	35.8	33.9	
Módulo complejo (kPa)	847	1.3E3	1.98E3	2.97E3	4.37E3	6.34E3	9.1E3	
Temperatura (°C)	31.00	28.00	25.00	22.00	18.99	16.00	13.00	
Deformación (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	
Esfuerzo cortante (Pa)	8447.79	12966.2	19804.5	29741.7	43857.3	63710.6	91490.3	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

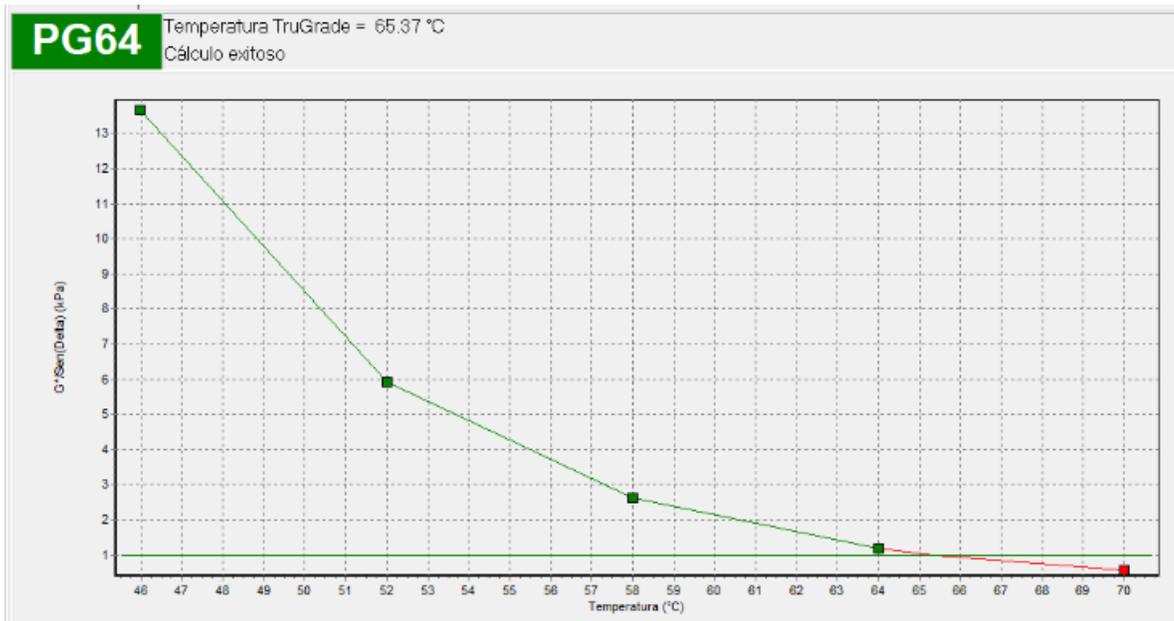
Asfalto de febrero (PAV)



Gráfica de Asfalto de febrero (PAV)

<b>PG64</b>		Temperatura TruGrade = 65.37 °C Cálculo exitoso				
	1	2	3	4	5	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*/Sen(Delta) (kPa)	13.7	5.91	2.61	1.18	0.564	
Notas						
Angulo de fase (°)	71.9	75.5	79.0	81.7	83.6	
Módulo complejo (kPa)	13	5.72	2.56	1.17	0.561	
Temperatura (°C)	45.99	52.01	58.00	64.01	70.00	
Deformación (%)	11.99	12.00	12.01	11.95	11.93	
Esfuerzo cortante (Pa)	1555	685.235	306.411	139.116	66.5428	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de abril (ORIGINAL)



Gráfica Asfalto de abril (ORIGINAL)

**PG64**

Temperatura TruGrade = 69.42 °C

Cálculo exitoso

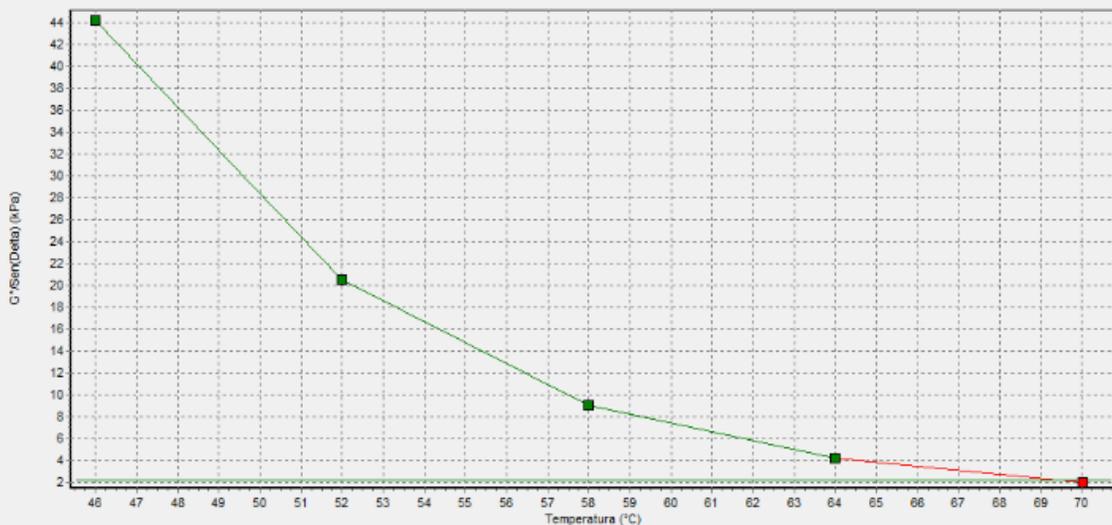
	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	44.2	20.5	9.06	4.23	2.05
Notas	21				
Angulo de fase (°)	61.0	64.4	68.3	72.0	75.5
Módulo complejo (kPa)	38.7	18.5	8.42	4.03	1.98
Temperatura (°C)	46.00	52.00	58.00	64.00	70.02
Deformación (%)	8.43	10.07	9.82	9.99	9.94
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.66	1864.02	825.25	400.815	195.739
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de abril (RTFOT)

**PG64**

Temperatura TruGrade = 69.42 °C

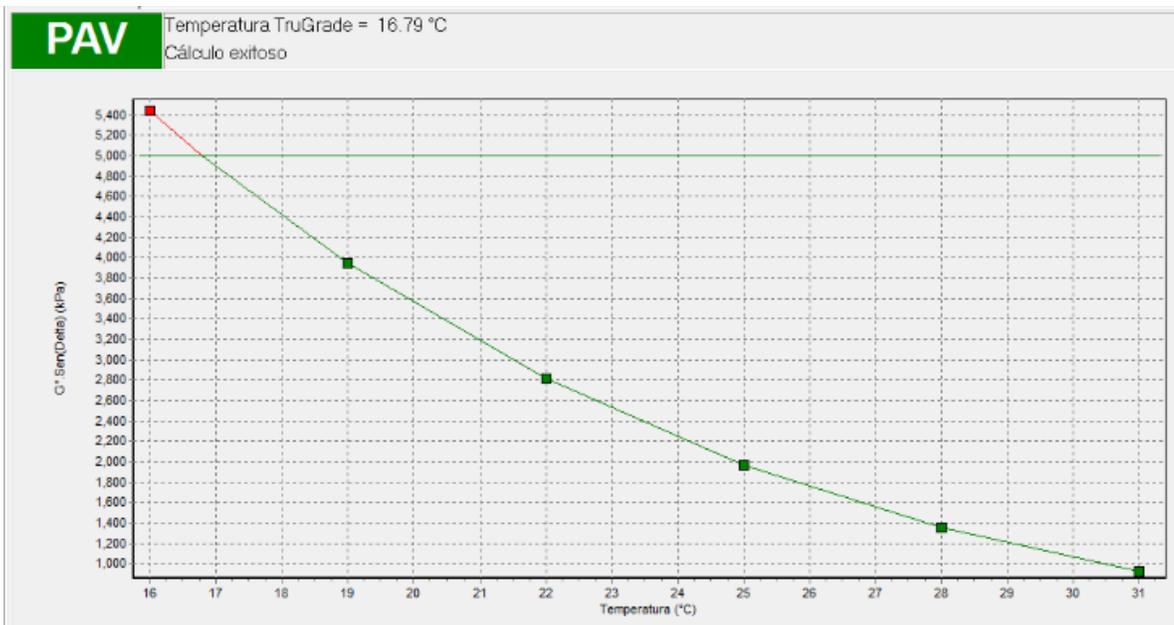
Cálculo exitoso



Gráfica Asfalto de abril (RTFOT)

<b>PAV</b>		Temperatura TruGrade = 16.79 °C					
		Cálculo exitoso					
	1	2	3	4	5	6	
<b>Resultado</b>	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
<b>G*.Sen(Delta) (kPa)</b>	921	1.36E3	1.97E3	2.81E3	3.95E3	5.44E3	
<b>Notas</b>							
<b>Angulo de fase (°)</b>	45.1	43.2	41.4	39.6	37.8	36.1	
<b>Módulo complejo (kPa)</b>	1.3E3	1.98E3	2.97E3	4.41E3	6.44E3	9.24E3	
<b>Temperatura (°C)</b>	31.00	28.00	25.01	22.00	18.99	16.00	
<b>Deformación (%)</b>	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
<b>Esfuerzo cortante (Pa)</b>	13049.7	19930.9	29870.1	44422.3	64916	93307.4	
<b>Frecuencia (rad/s)</b>	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
<b>Hora de punto</b>	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de abril (PAV)

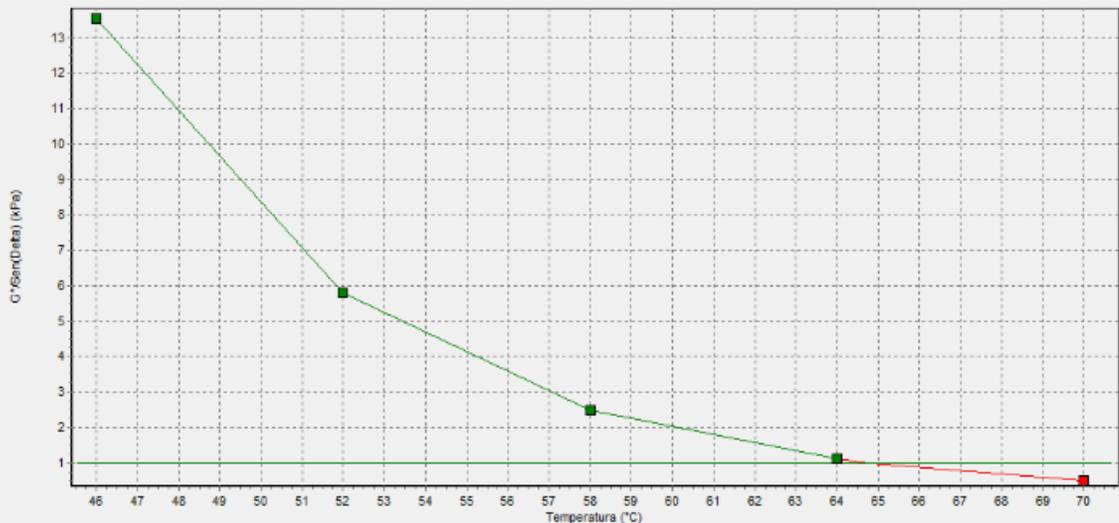


Gráfica Asfalto de abril (PAV)

**PG64**Temperatura TruGrade = 64.78 °C  
Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	13.5	5.81	2.49	1.11	0.506
Notas					
Angulo de fase (°)	71.7	75.4	78.7	81.2	82.7
Módulo complejo (kPa)	12.8	5.62	2.44	1.09	0.501
Temperatura (°C)	46.01	52.00	58.00	64.00	69.99
Deformación (%)	12.03	11.98	11.96	12.00	11.96
Esfuerzo cortante (Pa)	1543.75	671.448	291.262	130.601	59.5039
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de junio (ORIGINAL)

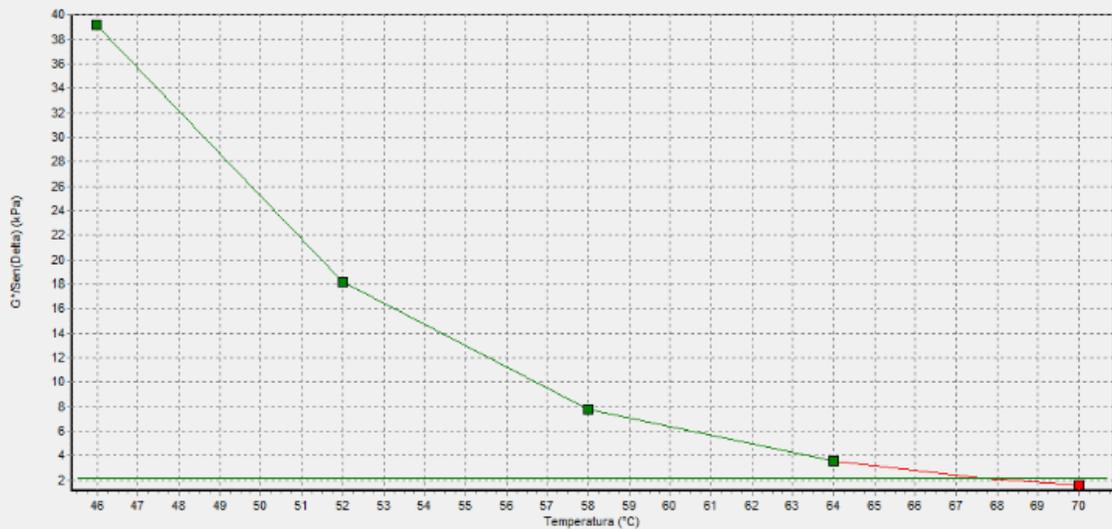
**PG64**Temperatura TruGrade = 64.78 °C  
Cálculo exitoso

Gráfica Asfalto de junio (ORIGINAL)

**PG64**Temperatura TruGrade = 67.65 °C  
Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	39.2	18.2	7.77	3.56	1.62
Notas	21				
Angulo de fase (°)	62.2	65.7	69.9	73.5	76.8
Módulo complejo (kPa)	34.6	16.6	7.29	3.41	1.57
Temperatura (°C)	45.99	52.00	58.00	64.00	70.00
Deformación (%)	9.40	9.98	9.71	10.01	9.94
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.65	1657.25	706.981	340.048	155.415
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

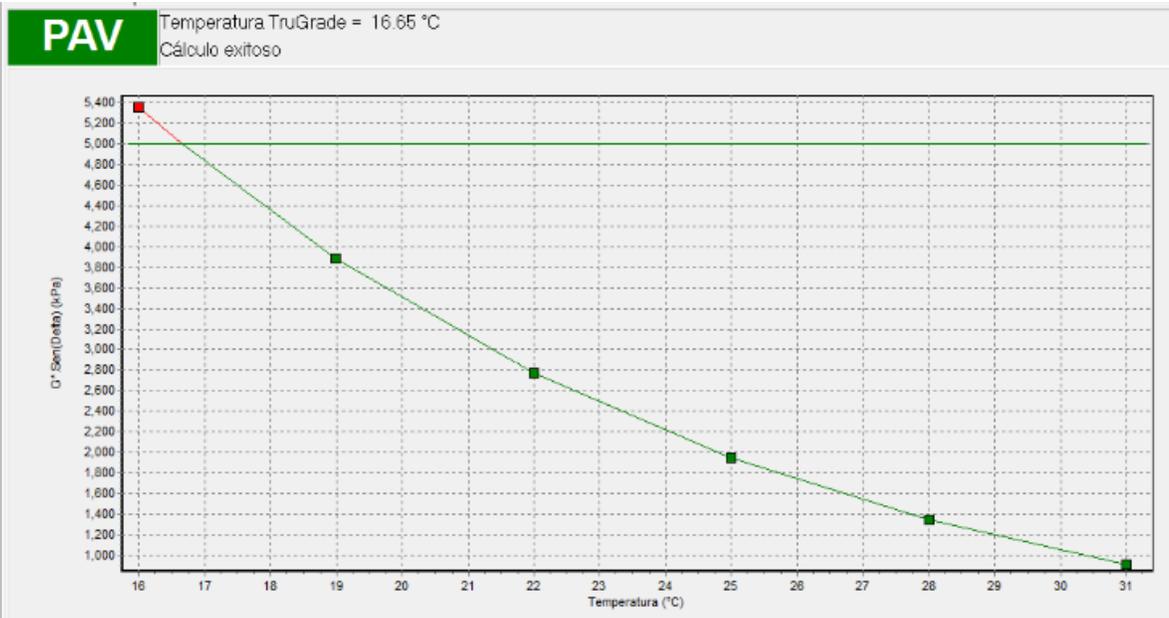
Asfalto de junio (RTFOT)

**PG64**Temperatura TruGrade = 67.65 °C  
Cálculo exitoso

Gráfica Asfalto de junio (RTFOT)

		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">PAV</div> <div style="margin-left: 10px;">           Temperatura TruGrade = 16.65 °C            Cálculo exitoso         </div> </div>					
		1	2	3	4	5	6
Resultado		Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*.Sen(Delta) (kPa)		906	1.34E3	1.95E3	2.78E3	3.89E3	5.36E3
Notas							
Angulo de fase (°)		45.5	43.4	41.4	39.5	37.7	35.8
Módulo complejo (kPa)		1.27E3	1.95E3	2.94E3	4.36E3	6.36E3	9.17E3
Temperatura (°C)		31.00	28.00	25.00	22.00	18.99	16.00
Deformación (%)		1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Esfuerzo cortante (Pa)		12774.2	19615	29525	43921.1	64173.9	92637.3
Frecuencia (rad/s)		10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto		15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de junio (PAV)



Gráfica Asfalto de junio (PAV)

<b>PG64</b>		Temperatura TruGrade = 69.01 °C Cálculo exitoso				
	1	2	3	4	5	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*/Sen(Delta) (kPa)	15.7	9.05	4.04	1.87	0.885	
Notas						
Angulo de fase (°)	72.6	75.8	79.0	81.7	83.3	
Módulo complejo (kPa)	15	8.77	3.97	1.85	0.879	
Temperatura (°C)	46.00	52.00	58.01	63.99	69.99	
Deformación (%)	11.42	11.87	12.06	11.98	12.05	
Esfuerzo cortante (Pa)	1705.4	1039.95	477.254	221.216	105.371	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de agosto (ORIGINAL)

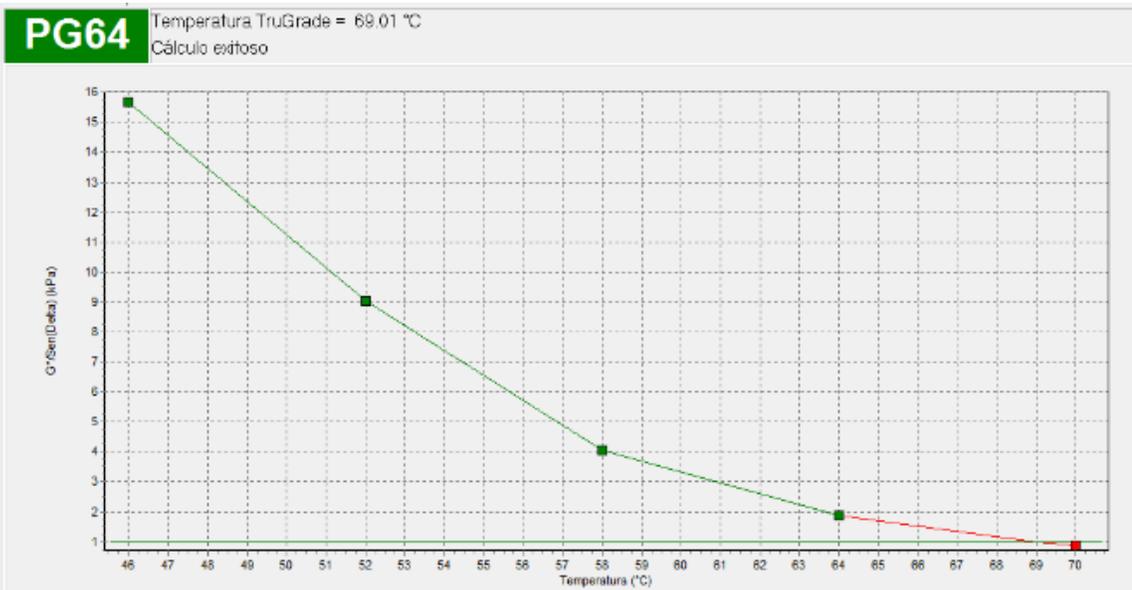


Gráfico Asfalto de agosto (ORIGINAL)

<b>PG70</b>		Temperatura TruGrade = 74.94 °C Cálculo exitoso					
	1	2	3	4	5	6	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*/Sen(Delta) (kPa)	85.8	39	17.8	8.03	3.93	1.94	
Notas	21	21					
Angulo de fase (°)	59.4	63.4	67.0	71.1	74.4	77.6	
Módulo complejo (kPa)	73.9	34.8	16.4	7.6	3.78	1.9	
Temperatura (°C)	46.00	52.01	58.00	64.00	70.00	76.00	
Deformación (%)	4.41	9.35	10.09	9.65	10.00	9.93	
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.72	3255.67	1652.89	732.083	376.997	187.369	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de agosto (RTFOT)

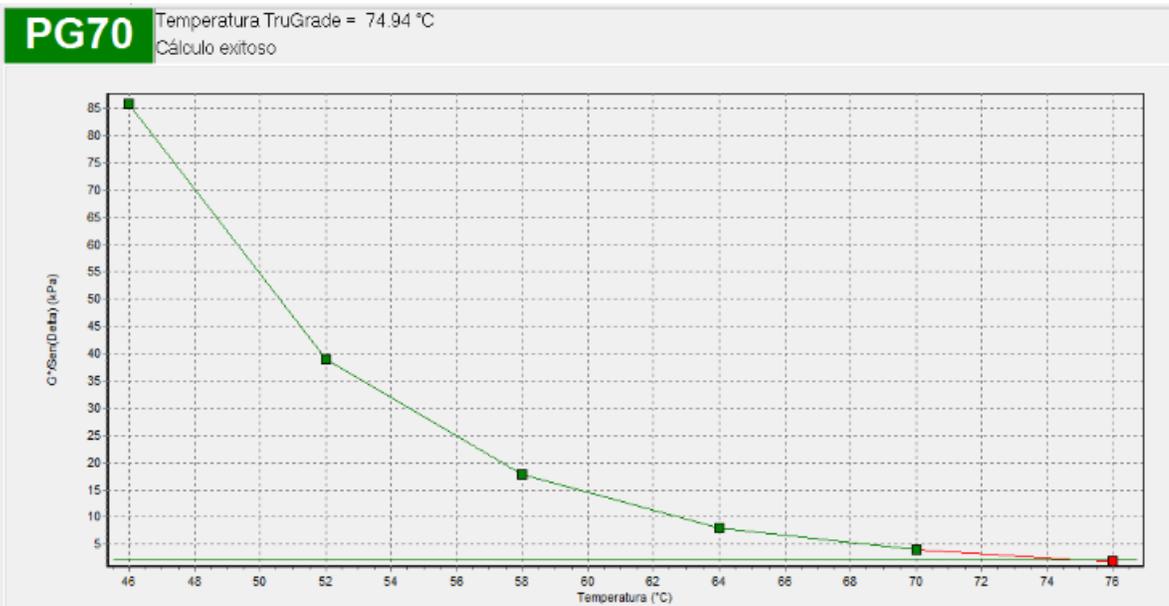
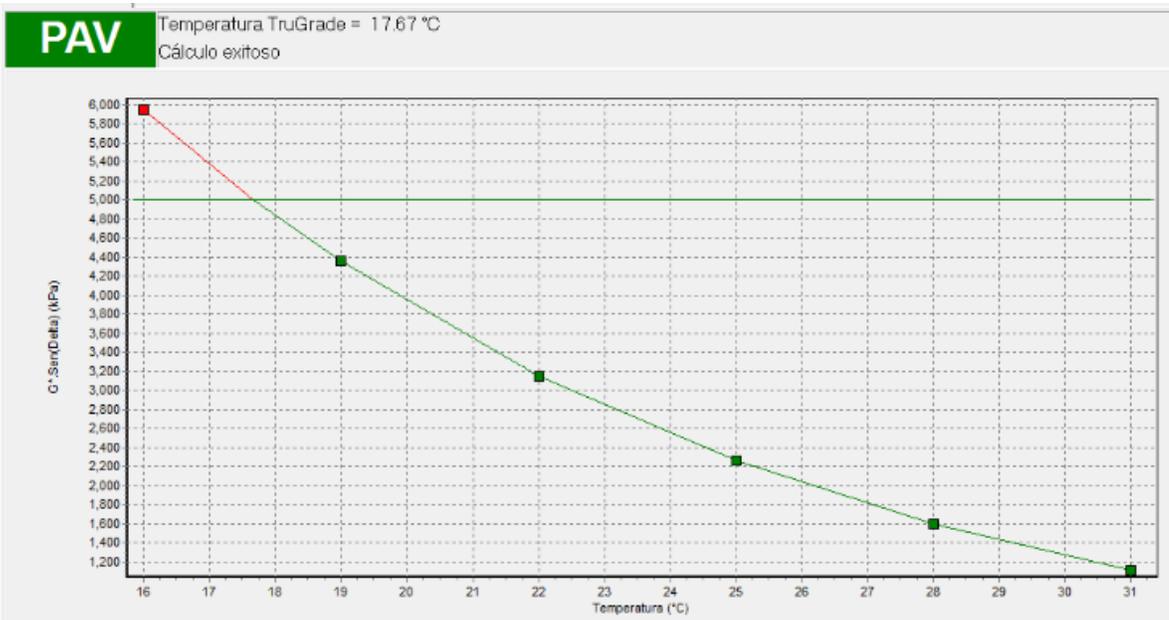


Gráfico de Asfalto de agosto (RTFOT)

<b>PAV</b>		Temperatura TruGrade = 17.67 °C Cálculo exitoso					
	1	2	3	4	5	6	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*.Sen(Delta) (kPa)	1.11E3	1.6E3	2.26E3	3.15E3	4.35E3	5.95E3	
Notas						21	
Angulo de fase (°)	42.3	40.5	38.9	37.3	35.6	34.0	
Módulo complejo (kPa)	1.65E3	2.46E3	3.61E3	5.19E3	7.47E3	1.06E4	
Temperatura (°C)	31.00	28.00	25.00	22.01	19.00	16.00	
Deformación (%)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0.94	
Esfuerzo cortante (Pa)	16635.3	24783	36238.9	52364.4	75409.7	99370.4	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de agosto (PAV)



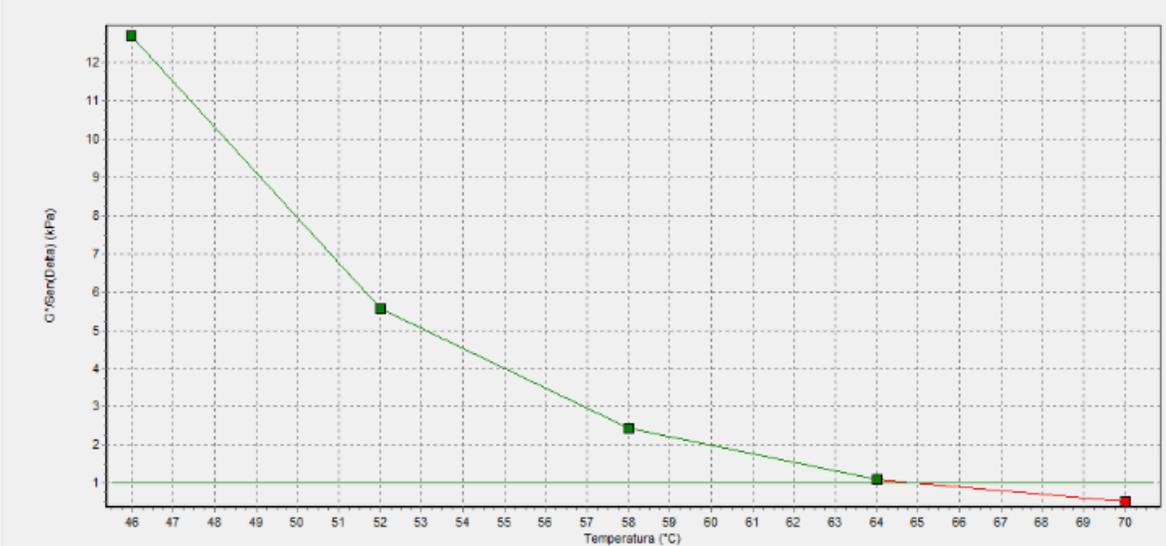
Gráfica Asfalto de agosto (PAV)

**PG64** Temperatura TruGrade = 64.88 °C  
Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	12.7	5.55	2.43	1.11	0.533
Notas					
Angulo de fase (°)	72.2	75.8	79.1	81.9	83.8
Módulo complejo (kPa)	12.1	5.38	2.39	1.1	0.53
Temperatura (°C)	45.99	52.00	58.00	64.00	70.01
Deformación (%)	11.96	11.90	12.03	11.97	11.97
Esfuerzo cortante (Pa)	1443.6	638.781	285.95	131.258	63.0682
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de octubre (ORIGINAL)

**PG64** Temperatura TruGrade = 64.88 °C  
Cálculo exitoso



Gráfica Asfalto de octubre (ORIGINAL)

**PG64**

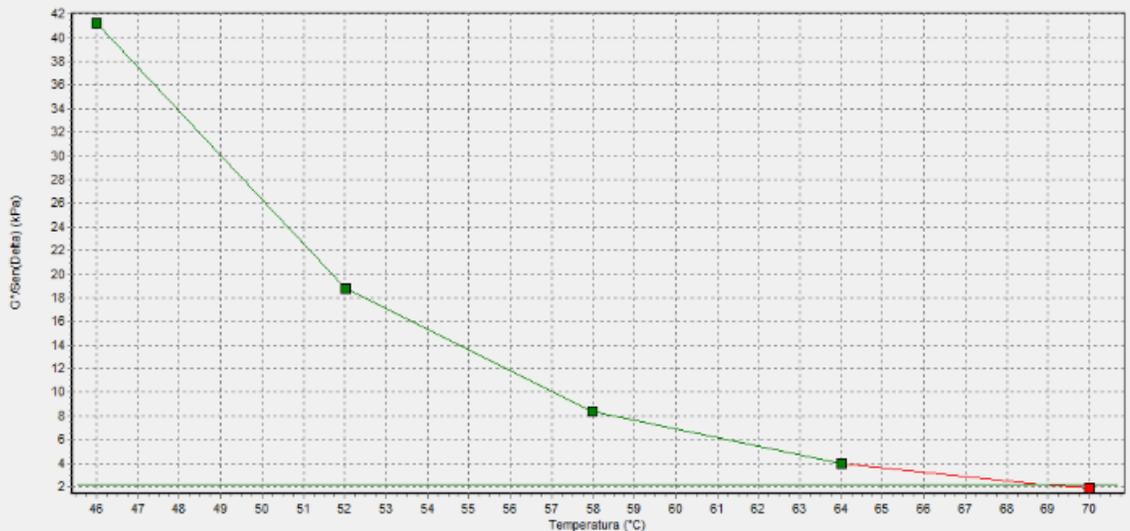
Temperatura TruGrade = 68.84 °C  
 Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	41.2	18.8	8.4	3.95	1.91
Notas	21				
Angulo de fase (°)	62.0	65.4	69.4	72.9	76.3
Módulo complejo (kPa)	36.4	17.1	7.86	3.77	1.86
Temperatura (°C)	46.01	52.01	57.98	64.00	70.00
Deformación (%)	8.95	10.05	9.86	10.04	9.95
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.72	1712.51	773.218	377.467	183.774
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de octubre (RTFOT)

**PG64**

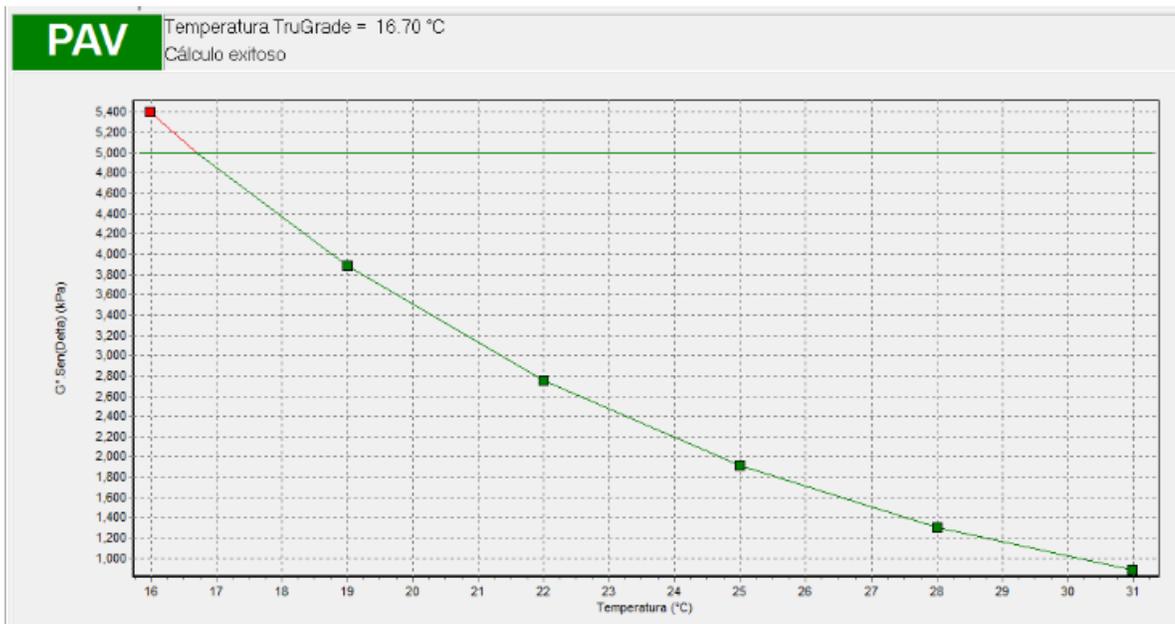
Temperatura TruGrade = 68.84 °C  
 Cálculo exitoso



Gráfica Asfalto de octubre (RTFOT)

PAV		Temperatura TruGrade = 16.70 °C					
		Cálculo exitoso					
	1	2	3	4	5	6	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*.Sen(Delta) (kPa)	881	1.3E3	1.92E3	2.76E3	3.89E3	5.41E3	
Notas							
Angulo de fase (°)	45.6	43.6	41.8	39.9	38.0	36.2	
Módulo complejo (kPa)	1.23E3	1.89E3	2.88E3	4.3E3	6.31E3	9.16E3	
Temperatura (°C)	30.99	28.00	25.00	22.00	19.00	15.99	
Deformación (%)	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
Esfuerzo cortante (Pa)	12376.1	19019.6	28900.9	43382.5	63730.9	92551.7	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de octubre (PAV)



Gráfica Asfalto de octubre (PAV)

**PG64**Temperatura TruGrade = 68.79 °C  
Cálculo exitoso

	1	2	3	4	5
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa
G*/Sen(Delta) (kPa)	21.5	9.23	4	1.78	0.864
Notas					
Angulo de fase (°)	71.4	75.1	78.4	81.0	82.8
Módulo complejo (kPa)	20.4	8.92	3.92	1.76	0.857
Temperatura (°C)	46.00	52.00	57.99	64.00	70.01
Deformación (%)	12.11	11.91	12.05	12.05	12.00
Esfuerzo cortante (Pa)	2464.5	1061.16	471.115	211.022	102.333
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200

Asfalto de diciembre (ORIGINAL)

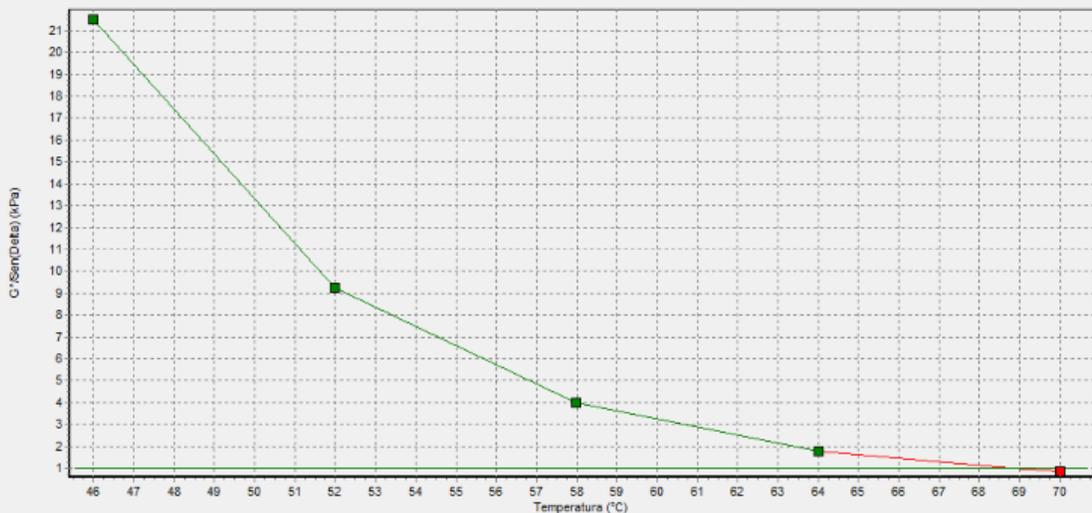
**PG64**Temperatura TruGrade = 68.79 °C  
Cálculo exitoso

Gráfico Asfalto de diciembre (ORIGINAL)

<b>PG70</b>		Temperatura TruGrade = 73.01 °C Cálculo exitoso					
	1	2	3	4	5	6	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*/Sen(Delta) (kPa)	63.8	30.1	13.8	6.53	3.16	1.53	
Notas	21						
Angulo de fase (°)	61.4	65.4	69.3	73.0	76.5	79.3	
Módulo complejo (kPa)	56	27.4	12.9	6.24	3.07	1.51	
Temperatura (°C)	46.00	52.00	58.00	64.01	70.00	76.00	
Deformación (%)	5.82	10.18	9.88	10.05	9.97	9.86	
Esfuerzo cortante (Pa)	3255.69	2786.54	1269.56	625.954	305.486	148.011	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de diciembre (RTFOT)

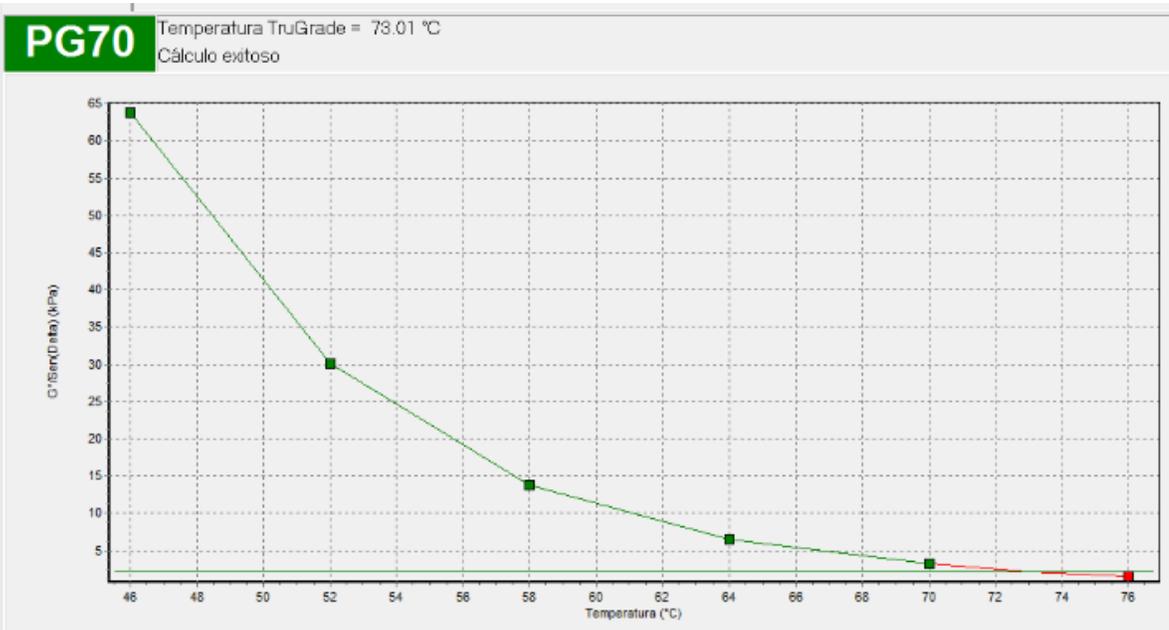


Gráfico Asfalto de diciembre (RTFOT)

<b>PAV</b>		Temperatura TruGrade = 16.84 °C Cálculo exitoso						
	1	2	3	4	5	6	7	
Resultado	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	No pasa	
G*.Sen(Delta) (kPa)	583	880	1.32E3	1.94E3	2.81E3	3.97E3	5.47E3	
Notas								
Angulo de fase (°)	46.2	44.1	42.3	40.5	38.8	37.3	35.7	
Módulo complejo (kPa)	808	1.27E3	1.97E3	2.98E3	4.48E3	6.56E3	9.36E3	
Temperatura (°C)	33.99	31.00	27.99	25.00	21.99	19.01	16.00	
Deformación (%)	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	
Esfuerzo cortante (Pa)	8074.44	12718.6	19801.3	30202.3	45481.4	67006.6	96264.5	
Frecuencia (rad/s)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	
Hora de punto	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	15/10/200	

Asfalto de diciembre (PAV)

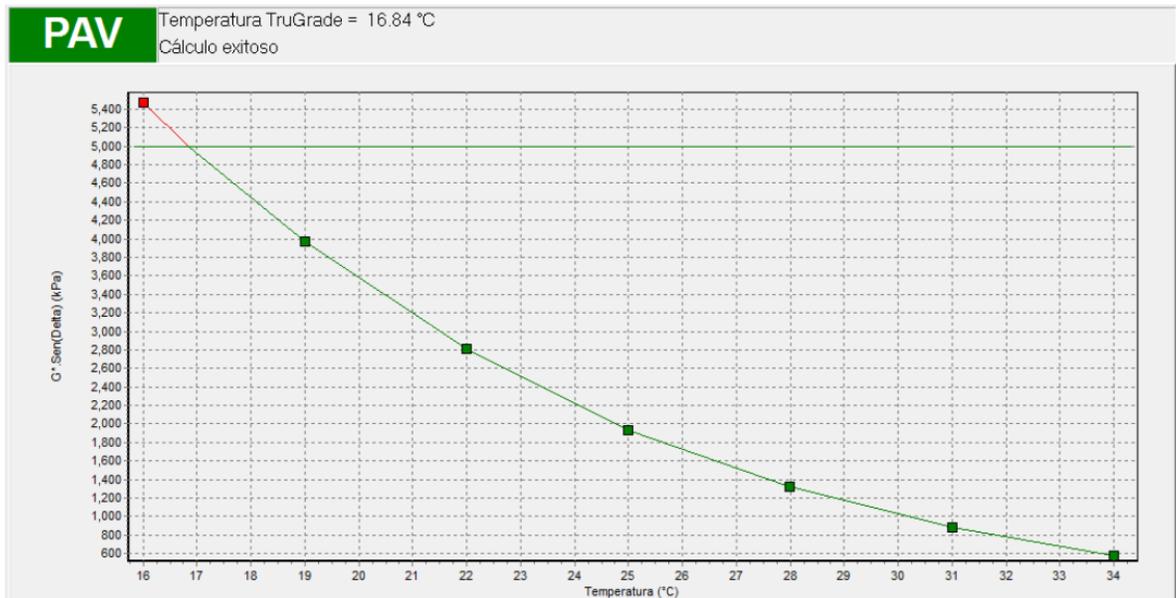
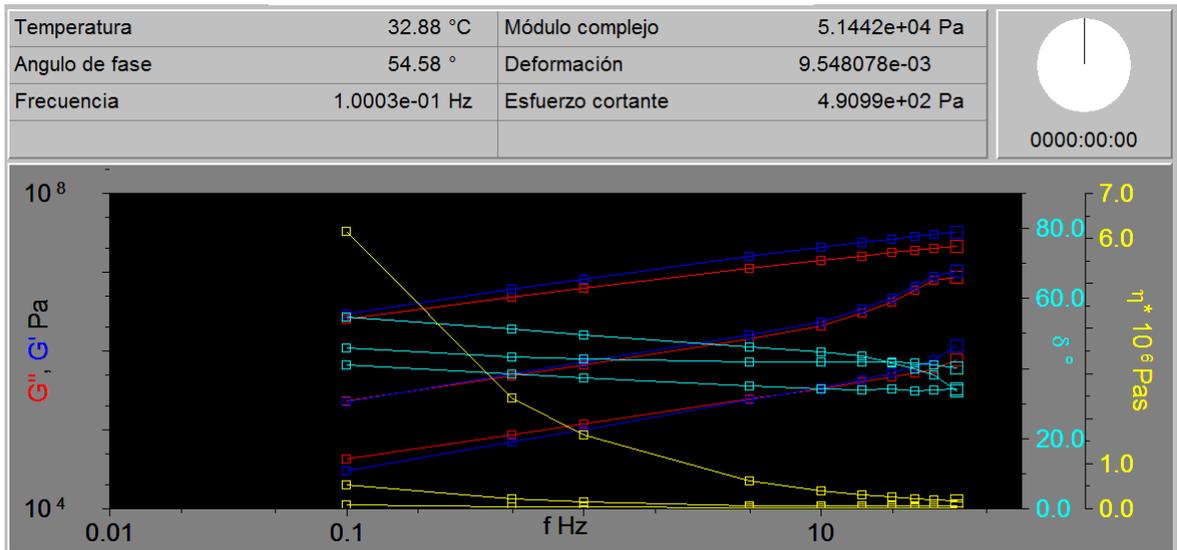
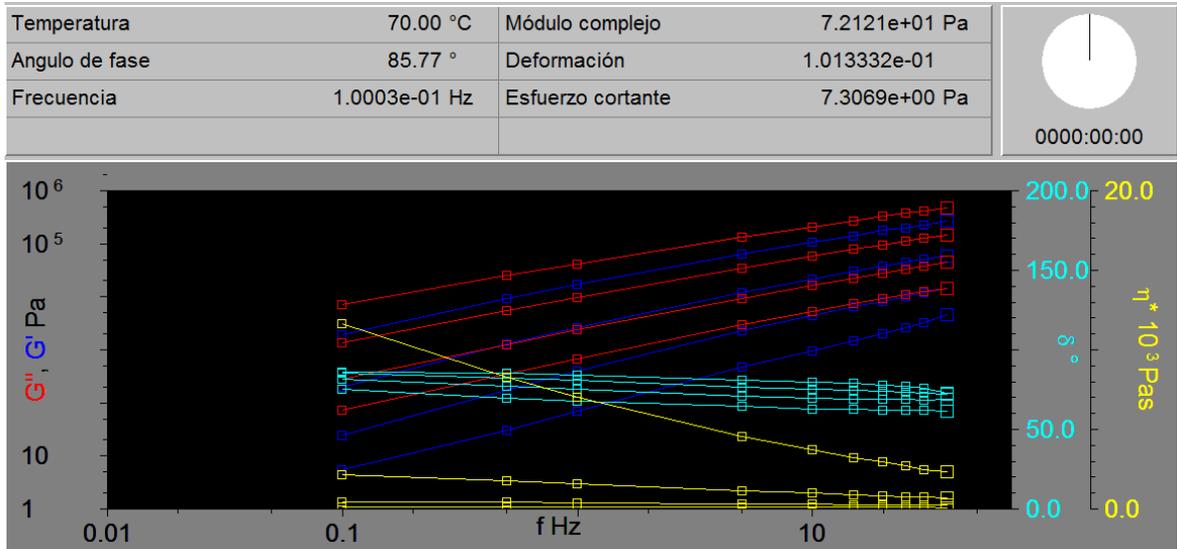
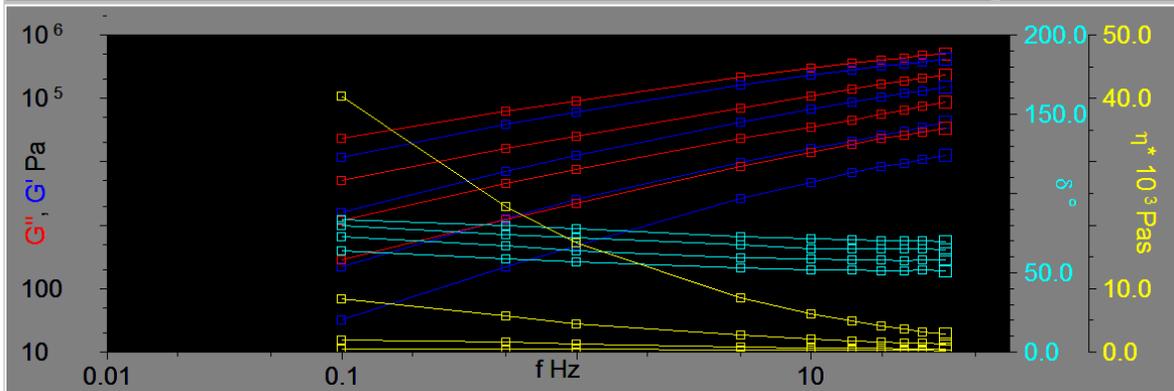


Gráfico Asfalto de diciembre (PAV)

## Anexo 5. Resultado del programa Bohlin Software Integrated del equipo DSR

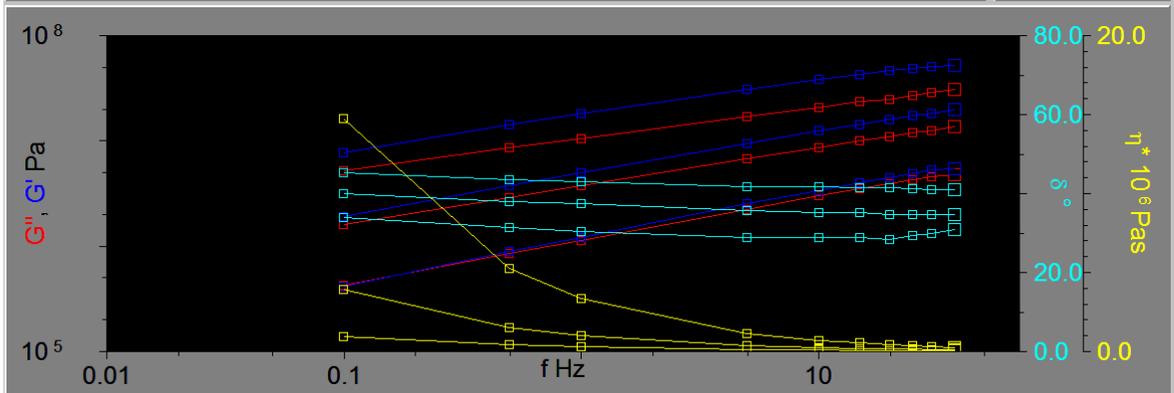


Temperatura	70.01 °C	Módulo complejo	2.8217e+02 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	83.53 °	Deformación	9.904408e-02	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.7945e+01 Pa	



Asfalto de febrero (RTFOT) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	40.03 °C	Módulo complejo	5.8326e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	45.32 °	Deformación	9.708800e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	5.6625e+03 Pa	

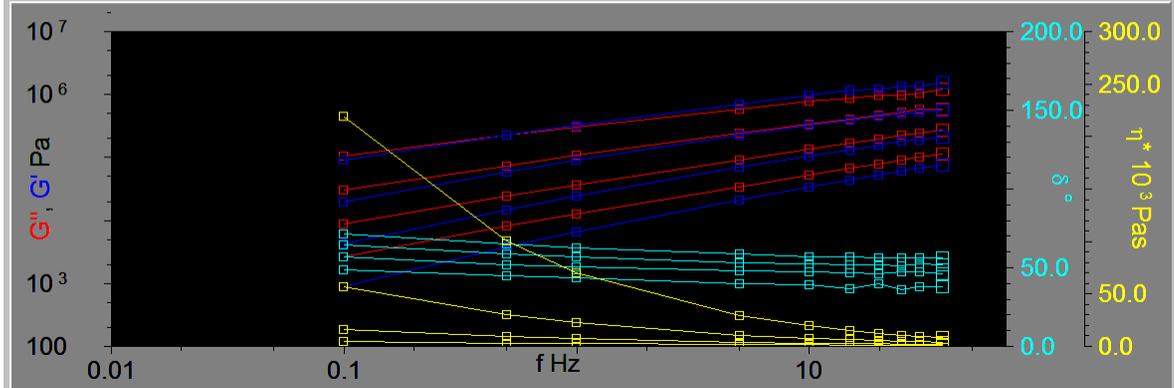


Asfalto de febrero (PAV) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.01 °C	Módulo complejo	2.7196e+03 Pa
Angulo de fase	71.49 °	Deformación	9.895934e-02
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.6912e+02 Pa



0000:00:00

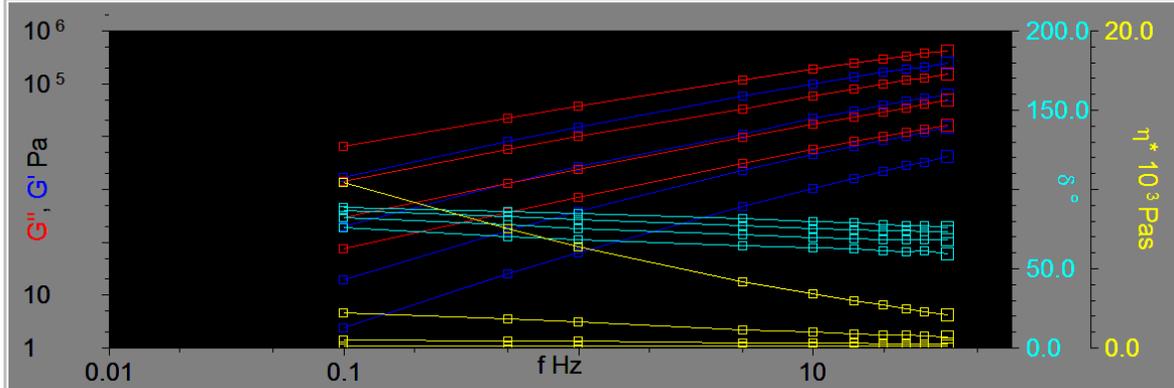


Asfalto de febrero (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	7.4693e+01 Pa
Angulo de fase	88.23 °	Deformación	1.016268e-01
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	7.5902e+00 Pa

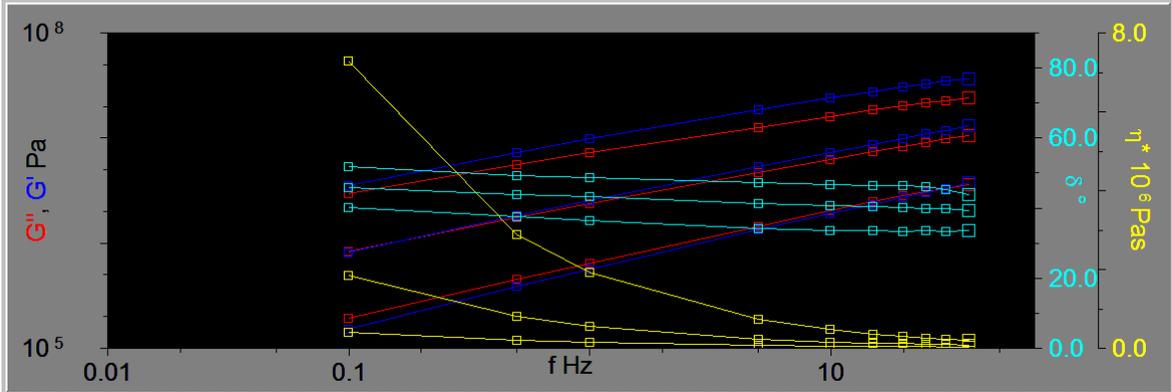


0000:00:00

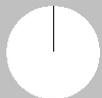


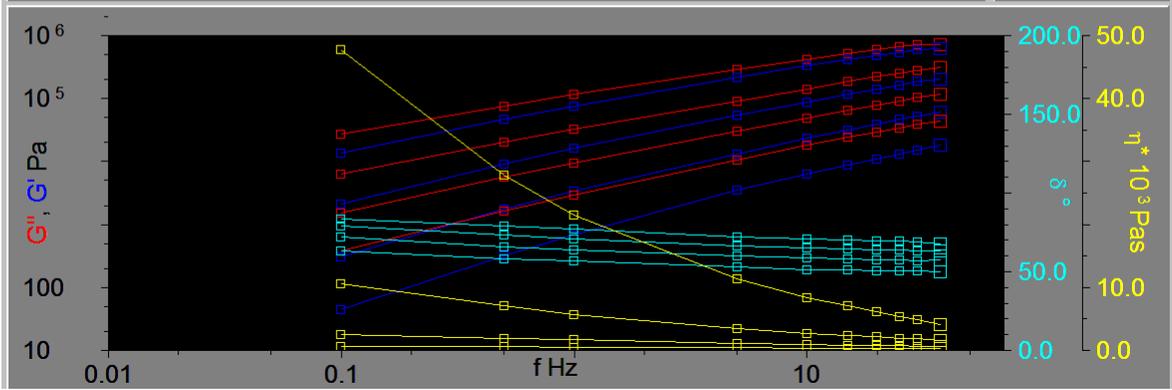
Asfalto de abril (ORIGINAL) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	30.01 °C	Módulo complejo	2.4245e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	51.76 °	Deformación	9.927099e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.4067e+03 Pa	



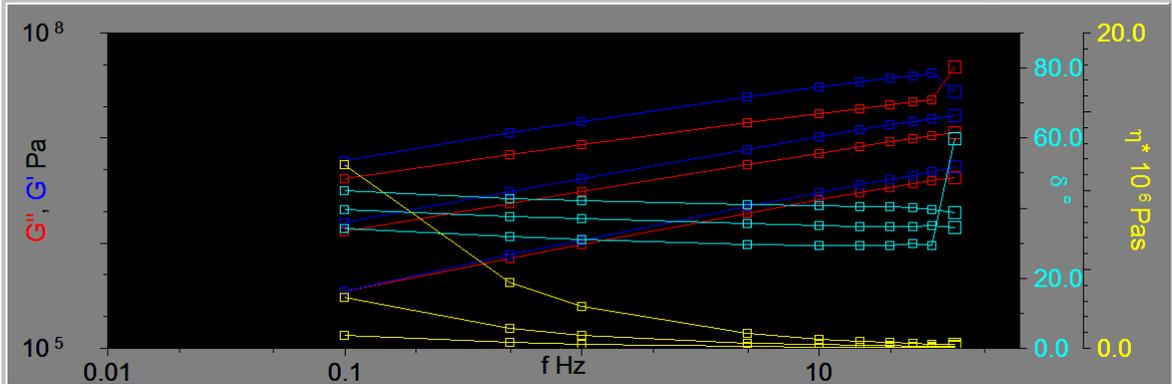
Asfalto de abril (RTFOT) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	3.7683e+02 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	83.23 °	Deformación	9.912590e-02	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	3.7352e+01 Pa	



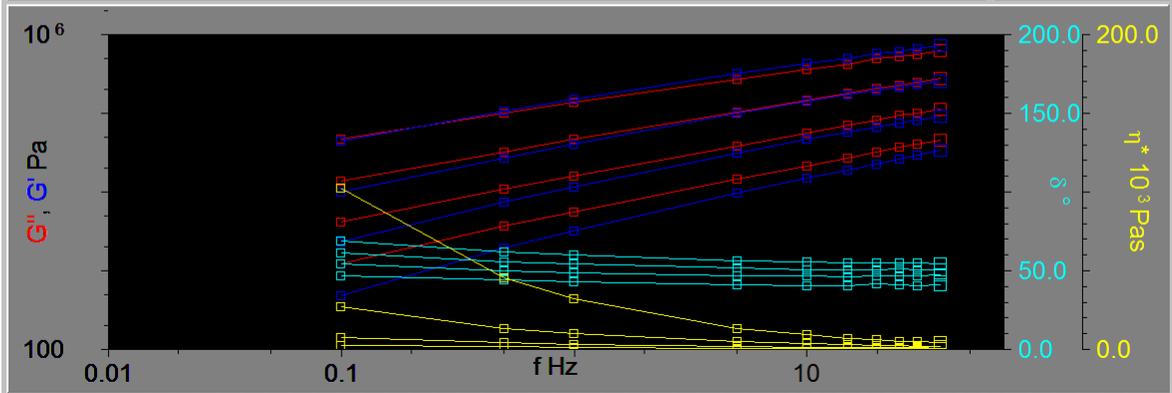
Asfalto de abril (RTFOT) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	31.22 °C	Módulo complejo	4.8764e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	44.72 °	Deformación	9.943685e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	4.8487e+03 Pa	



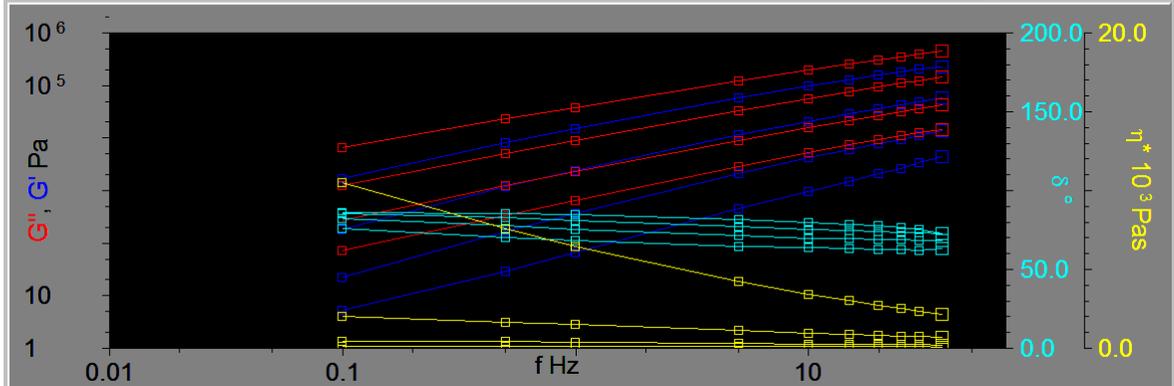
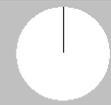
Asfalto de abril (PAV) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	68.53 °C	Módulo complejo	0.0000e+00 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	0.00 °	Deformación	0.000000e+00	
Frecuencia	0.0000e+00 Hz	Esfuerzo cortante	0.0000e+00 Pa	



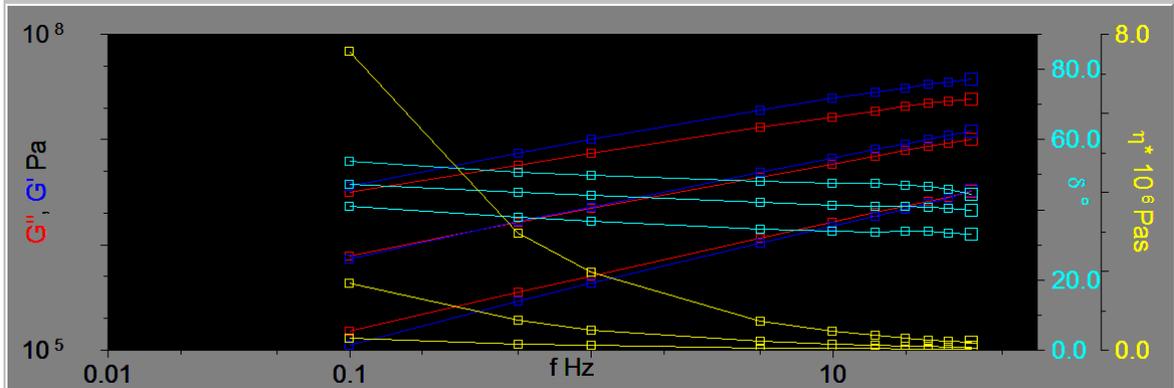
Asfalto de abril (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	69.99 °C	Módulo complejo	7.1149e+01 Pa
Angulo de fase	85.86 °	Deformación	1.007491e-01
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	7.1669e+00 Pa



Asfalto de junio (ORIGINAL) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	34.98 °C	Módulo complejo	1.8689e+05 Pa
Angulo de fase	53.60 °	Deformación	9.847451e-03
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	1.8402e+03 Pa

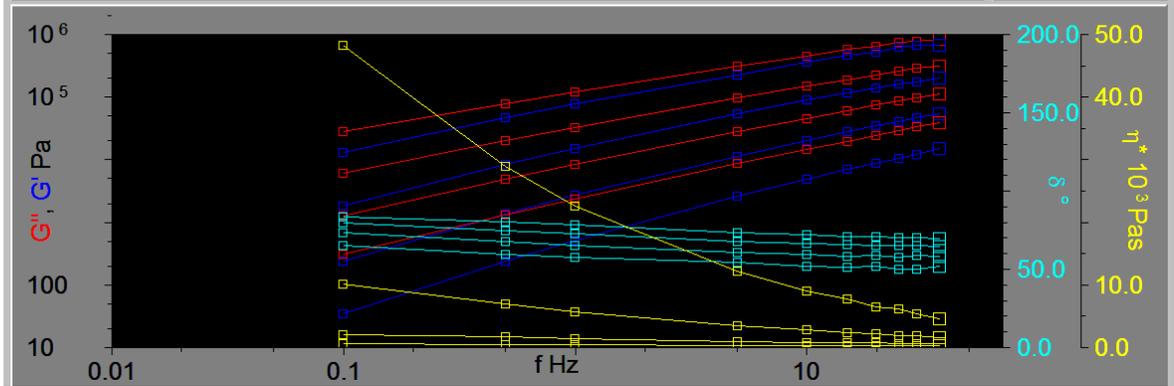


Asfalto de junio (RTFOT) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	3.0355e+02 Pa
Angulo de fase	83.52 °	Deformación	1.017852e-01
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	3.0895e+01 Pa



0000:00:00

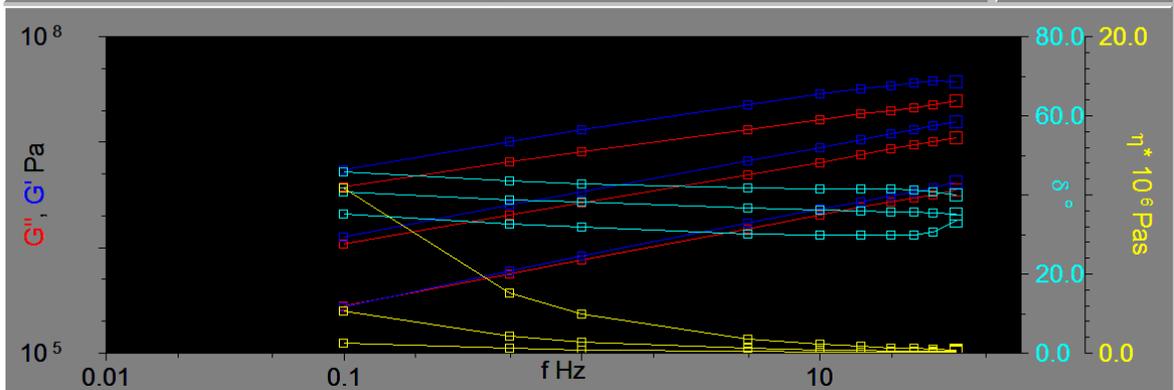


Asfalto de junio (RTFOT) Temperatura: 40°C-70°C

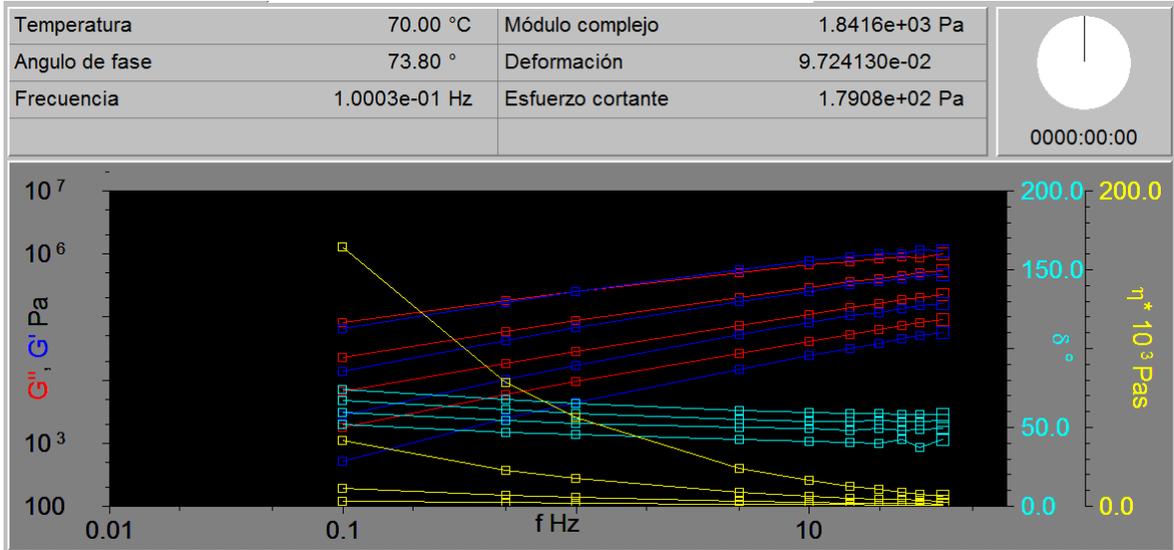
Temperatura	40.01 °C	Módulo complejo	3.8475e+05 Pa
Angulo de fase	45.70 °	Deformación	9.808850e-03
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	3.7737e+03 Pa



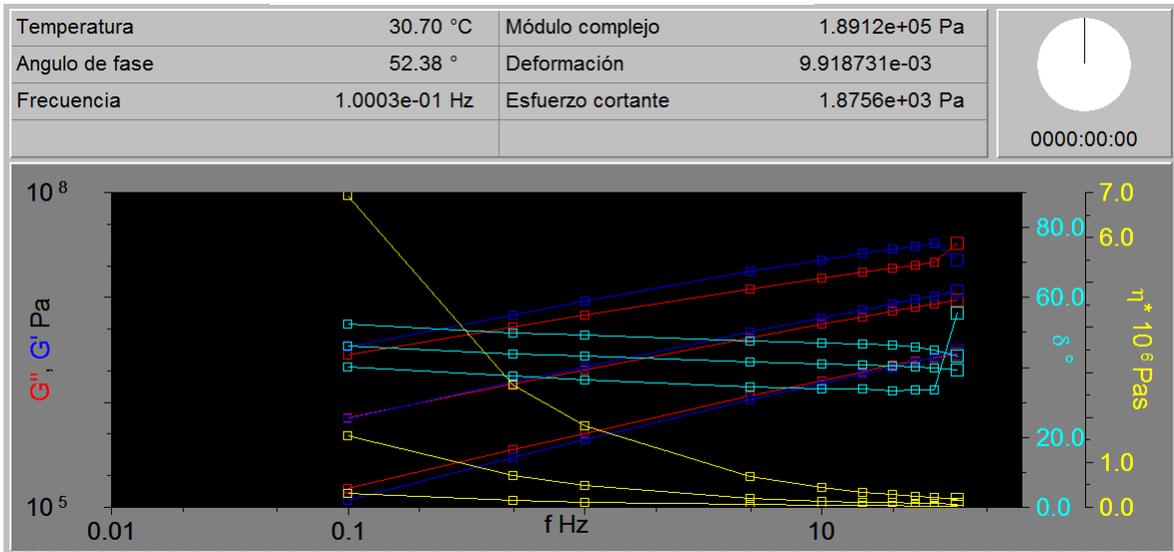
0000:00:00



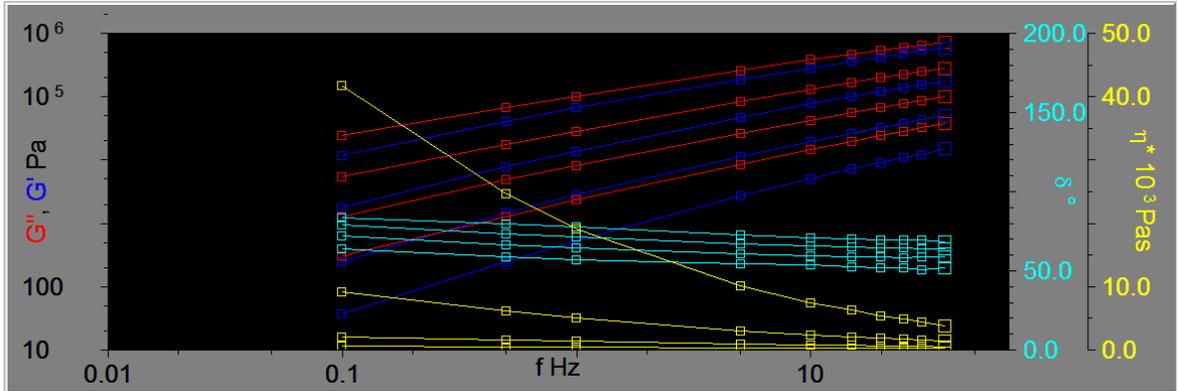
Asfalto de junio (PAV) Temperatura: 10°C-30°C



Asfalto de junio (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

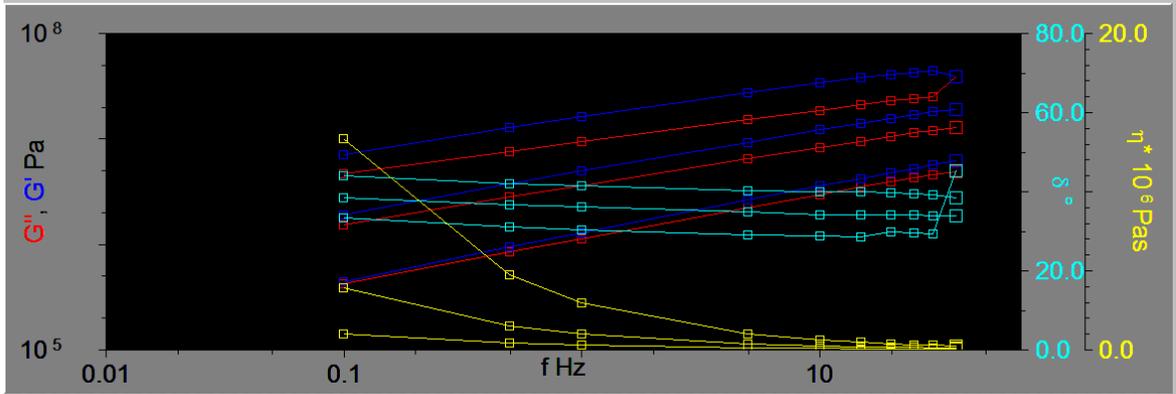


Asfalto de agosto (RTFOT) Temperatura: 10°C-30°C



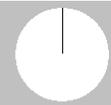
Asfalto de agosto (RTFOT) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	35.13 °C	Módulo complejo	6.0102e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	43.92 °	Deformación	9.887885e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	5.9426e+03 Pa	

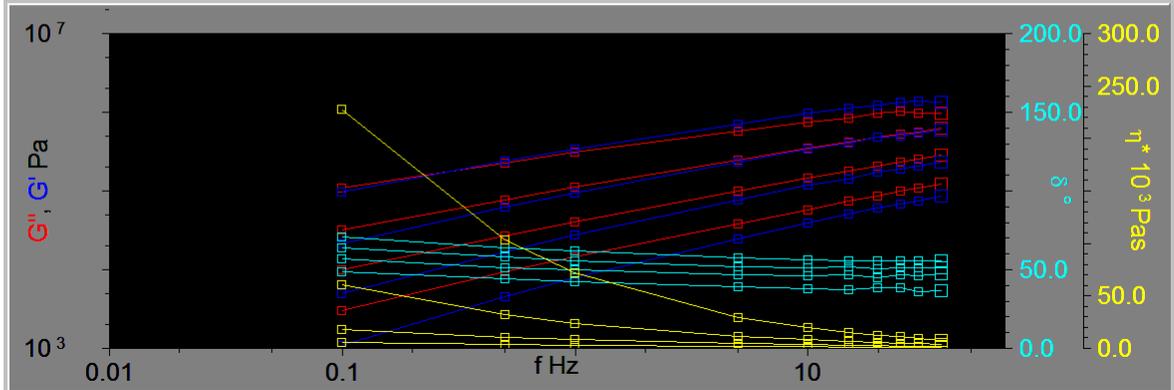


Asfalto de agosto (PAV) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.01 °C	Módulo complejo	3.2032e+03 Pa
Angulo de fase	70.61 °	Deformación	9.643267e-02
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	3.0889e+02 Pa



0000:00:00

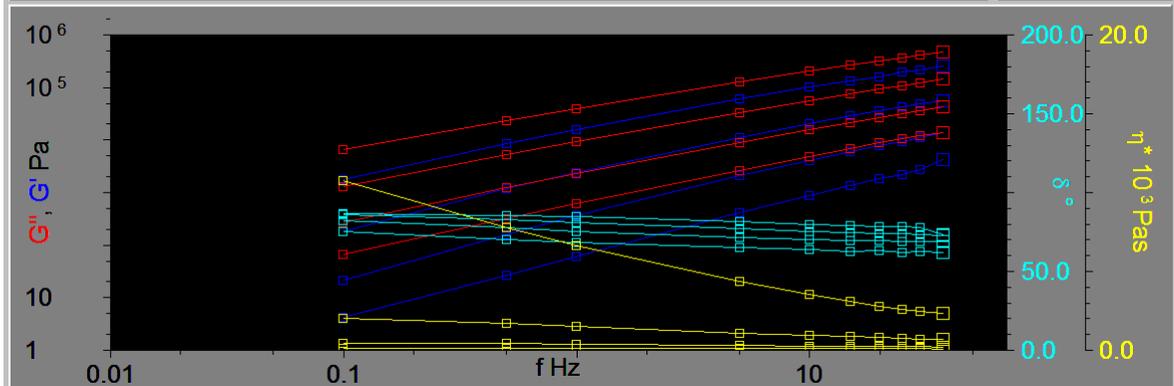


Asfalto de agosto (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	6.5708e+01 Pa
Angulo de fase	86.40 °	Deformación	1.008380e-01
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	6.6248e+00 Pa

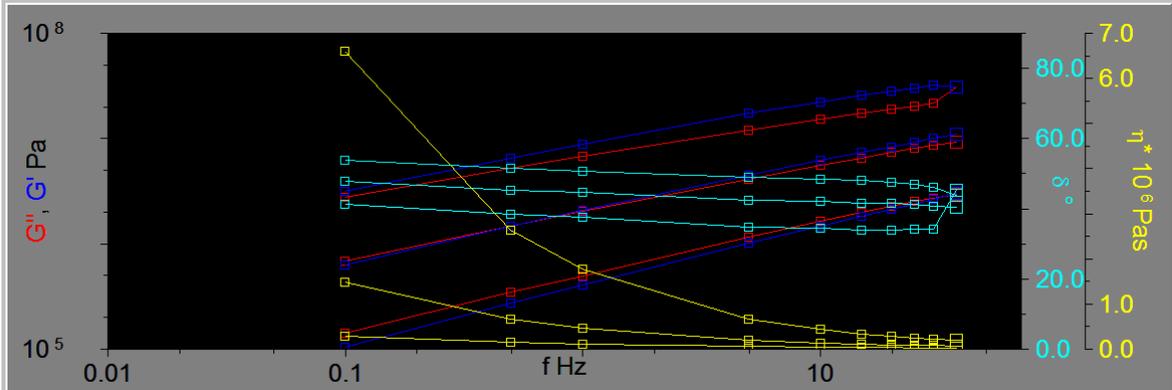


0000:00:00

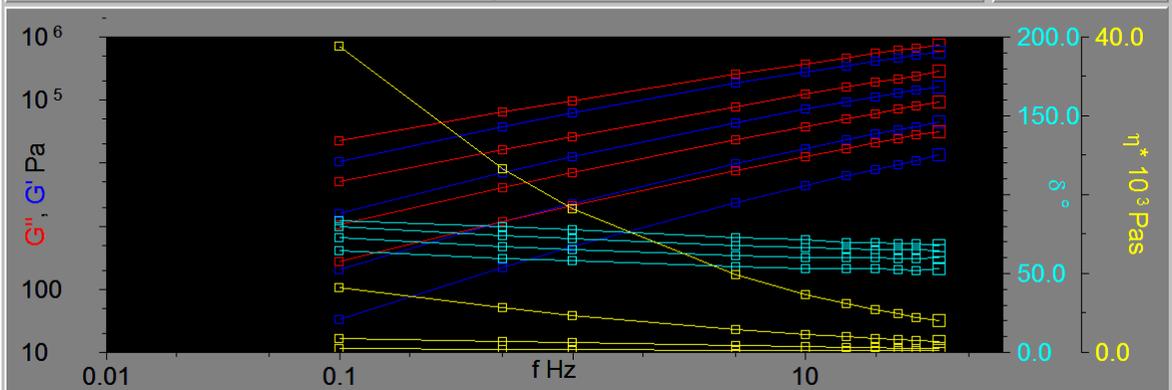


Asfalto de octubre (ORIGINAL) Temperatura: 40°C-70°C

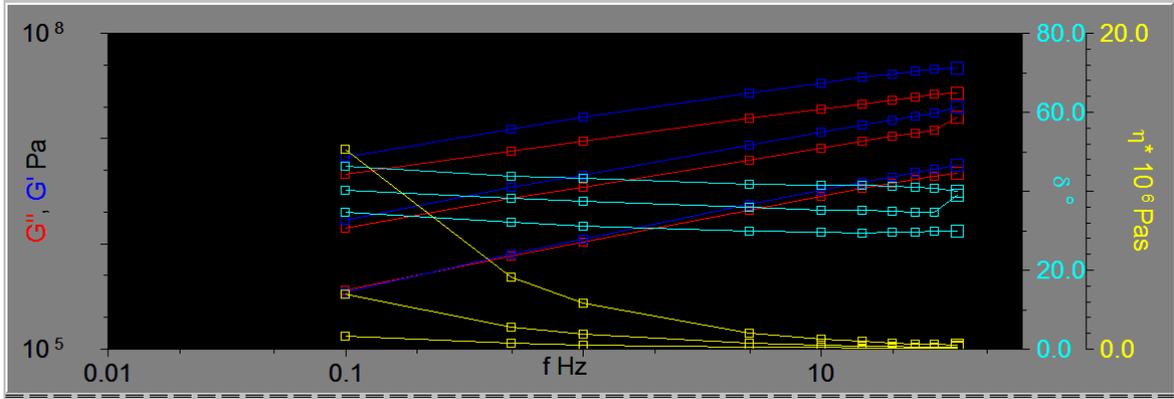
Temperatura	30.83 °C	Módulo complejo	1.7320e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	53.75 °	Deformación	9.942315e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	1.7219e+03 Pa	



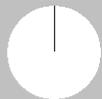
Temperatura	70.01 °C	Módulo complejo	2.7018e+02 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	82.98 °	Deformación	9.835878e-02	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.6573e+01 Pa	

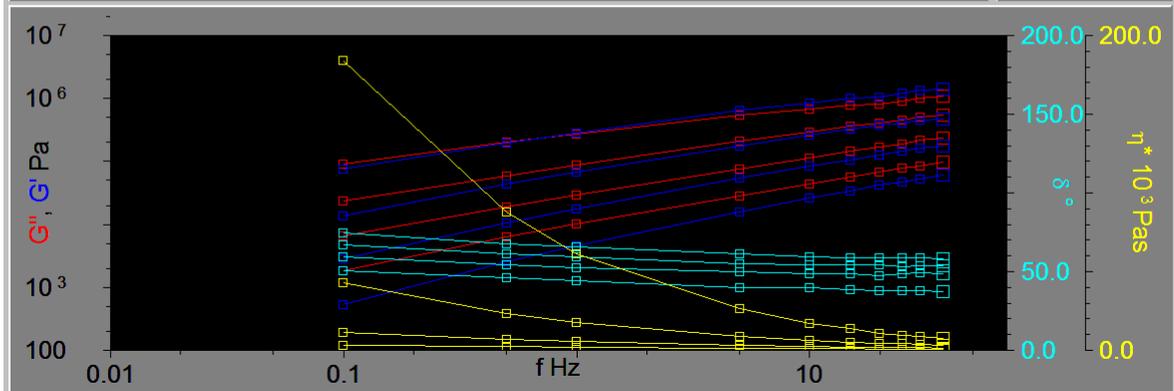


Temperatura	32.50 °C	Módulo complejo	4.9891e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	46.09 °	Deformación	9.873546e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	4.9258e+03 Pa	



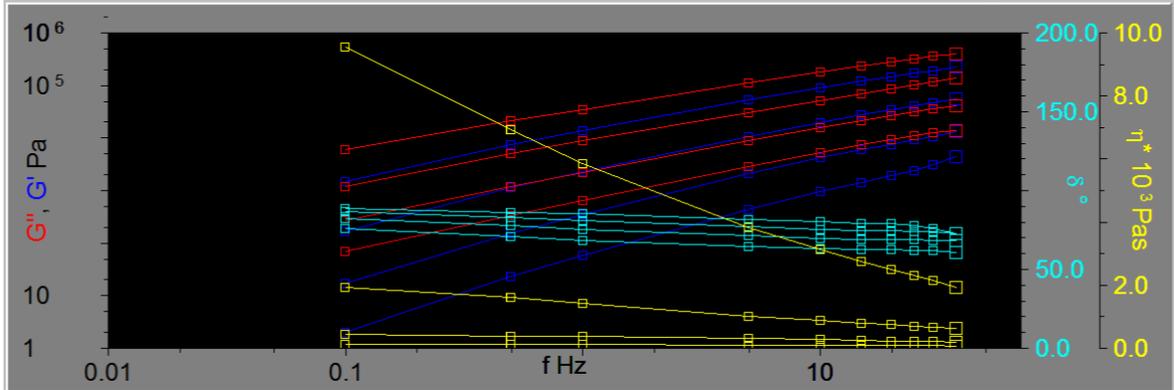
Asfalto de octubre (PAV) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	1.9119e+03 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	74.18 °	Deformación	9.957881e-02	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	1.9038e+02 Pa	



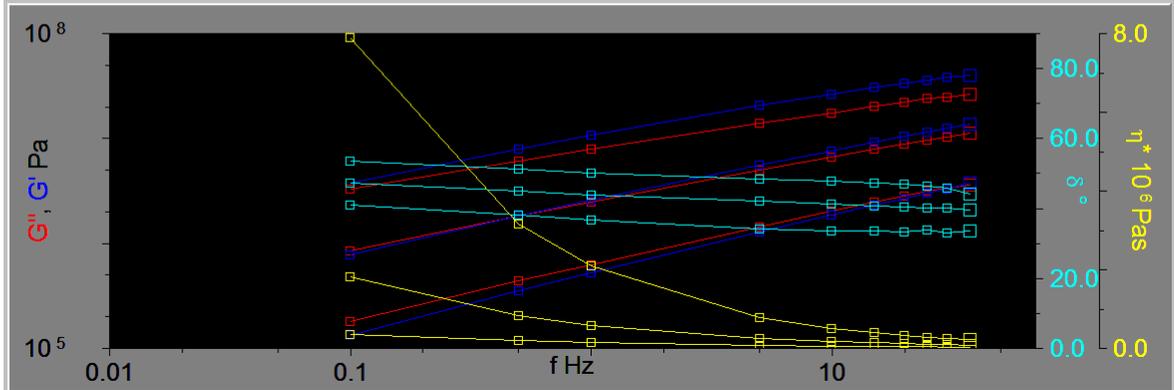
Asfalto de octubre (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	6.8837e+01 Pa
Angulo de fase	88.39 °	Deformación	1.002425e-01
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	6.8999e+00 Pa



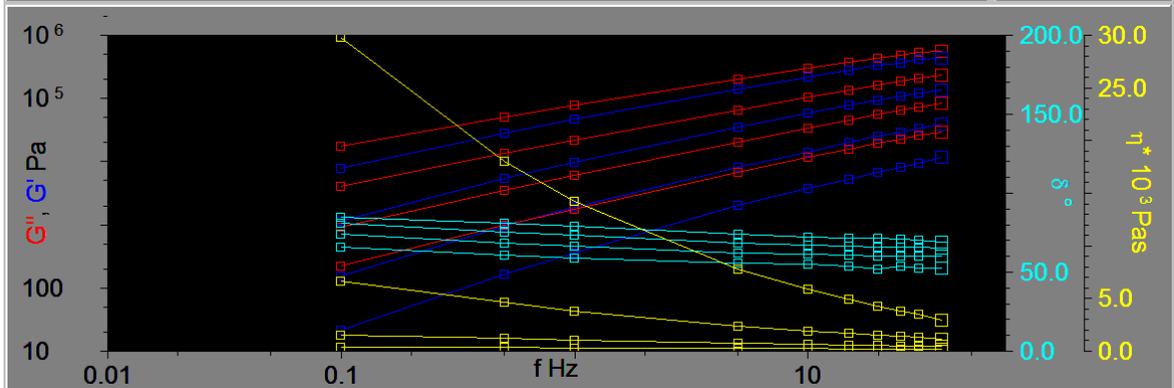
Asfalto de diciembre (ORIGINAL) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	30.04 °C	Módulo complejo	2.2192e+05 Pa
Angulo de fase	53.36 °	Deformación	9.970021e-03
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.2124e+03 Pa



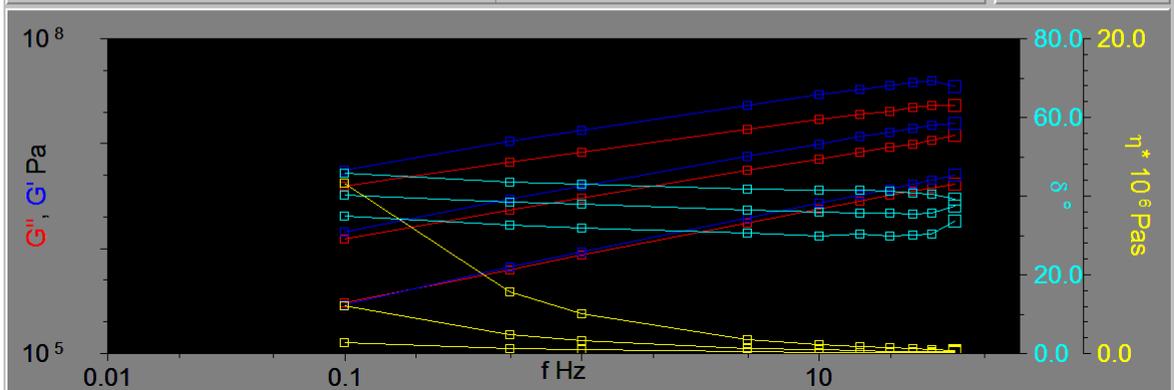
Asfalto de diciembre (RTFOT) Temperatura: 10°C-30°C

Temperatura	70.00 °C	Módulo complejo	2.2061e+02 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	84.45 °	Deformación	1.022167e-01	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	2.2548e+01 Pa	

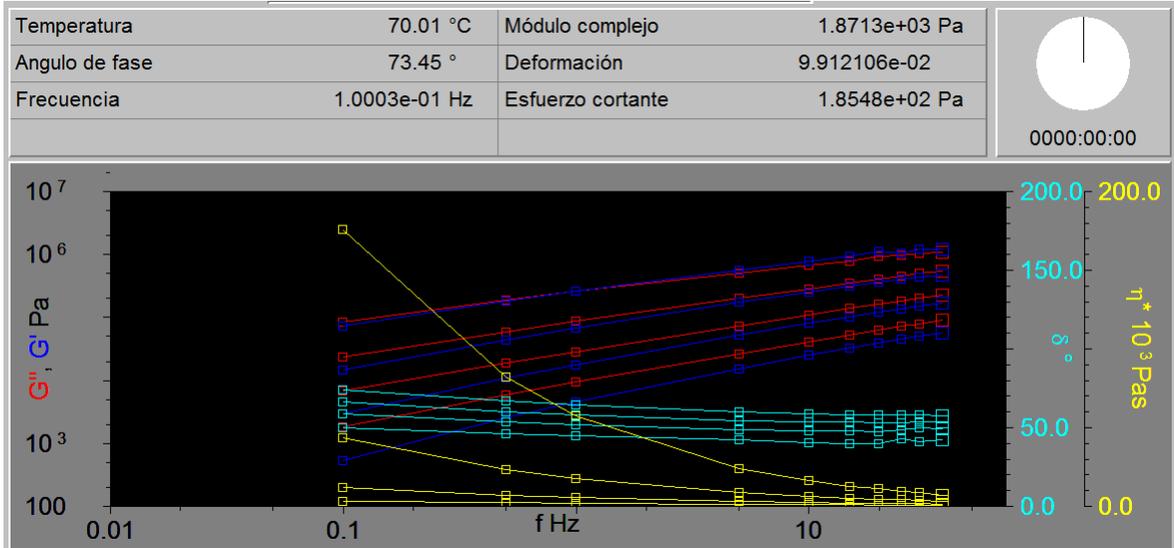


Asfalto de diciembre (RTFOT) Temperatura: 40°C-70°C

Temperatura	40.00 °C	Módulo complejo	4.1796e+05 Pa	 0000:00:00
Angulo de fase	45.71 °	Deformación	9.907039e-03	
Frecuencia	1.0003e-01 Hz	Esfuerzo cortante	4.1406e+03 Pa	

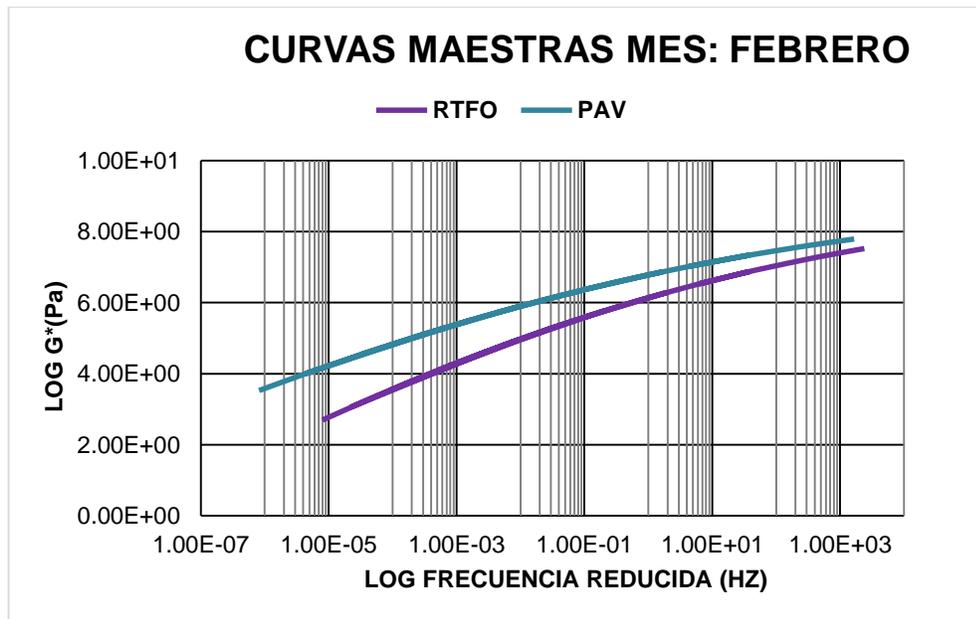


Asfalto de diciembre (PAV) Temperatura: 10°C-30°C

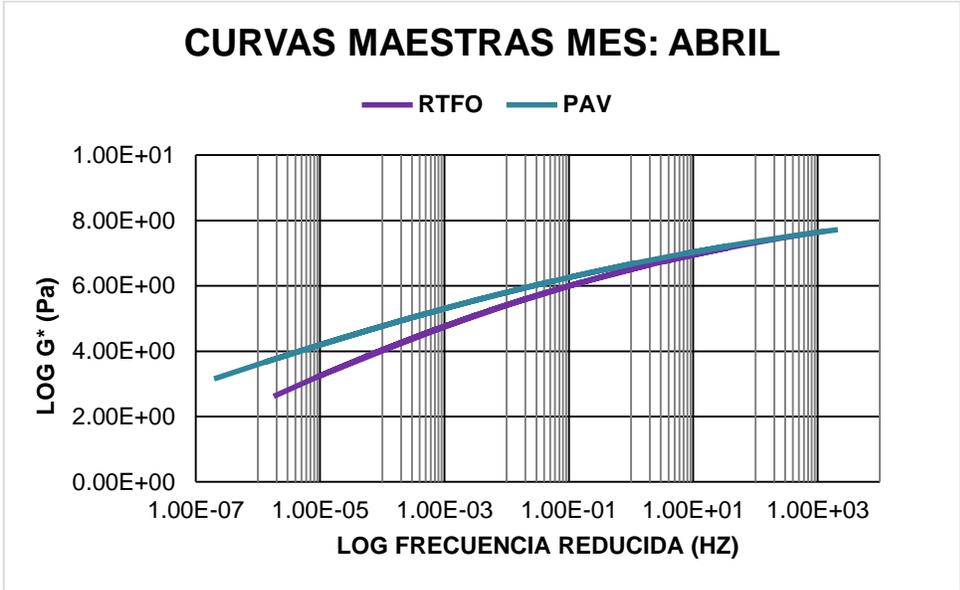


Asfalto de diciembre (PAV) Temperatura: 40°C-70°C

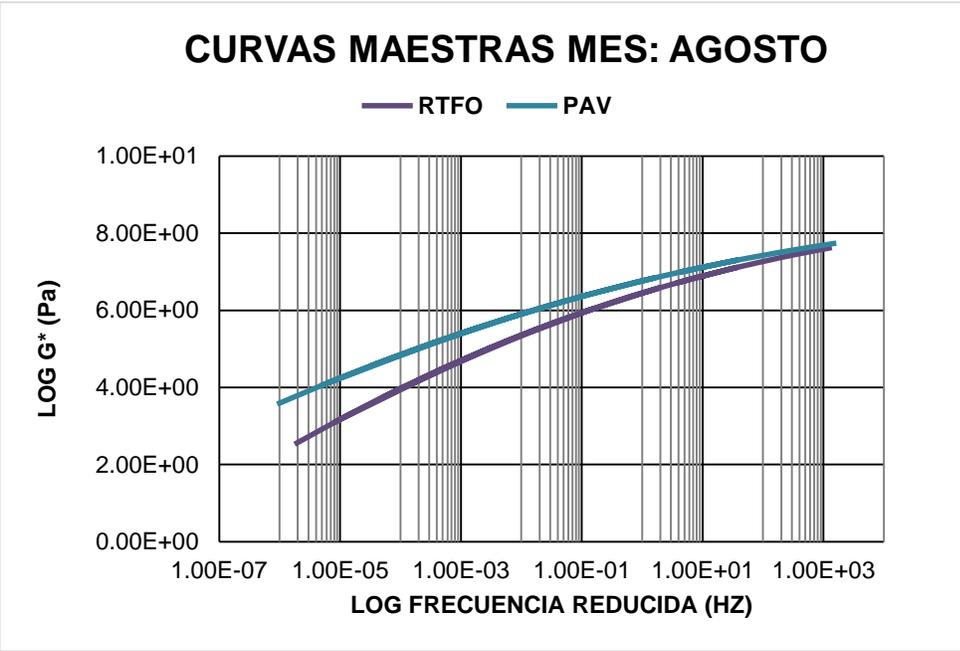
### Anexo 6. Gráficas de Curvas Maestras



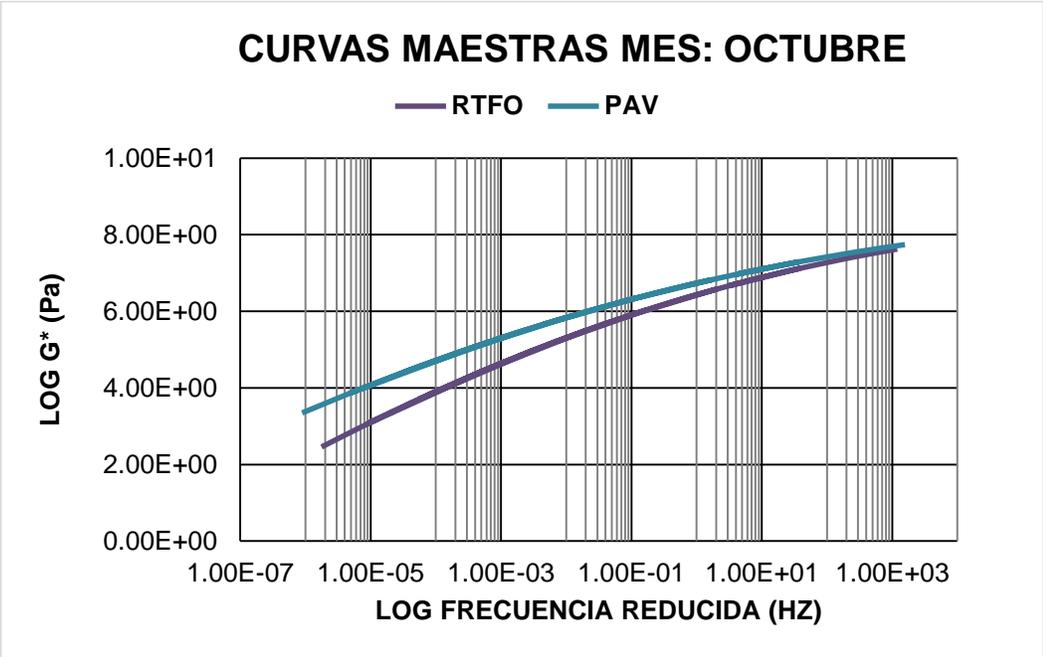
Curvas Maestras mes de febrero (RTFO Y PAV)



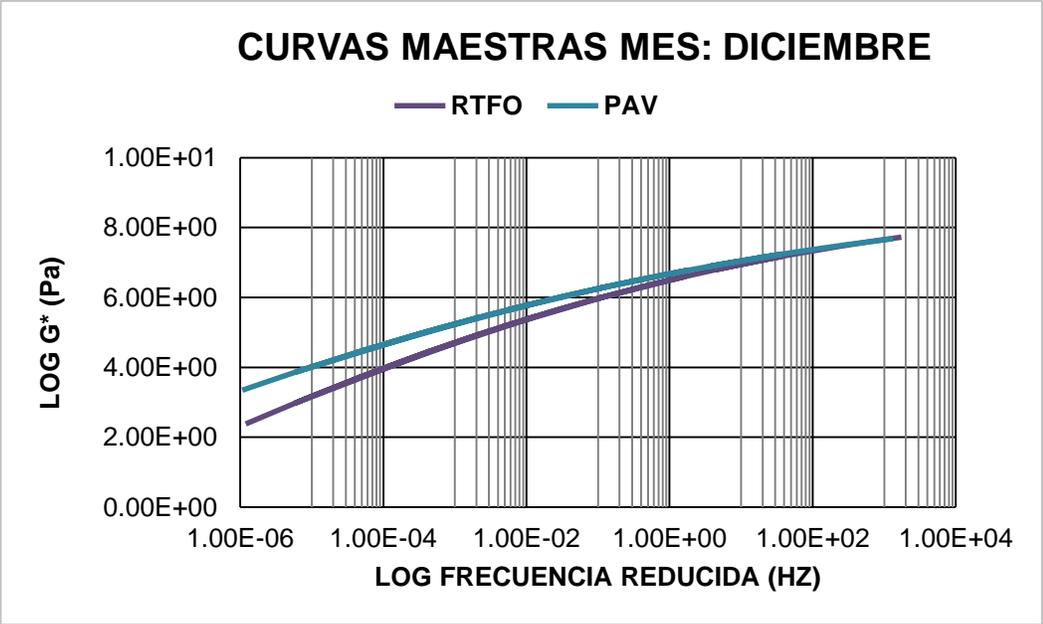
Curvas Maestras mes de abril (RTFO Y PAV)



Curvas Maestras mes de agosto (RTFO Y PAV)



Curvas Maestras mes de octubre (RTFO Y PAV)



Curvas Maestras mes de diciembre (RTFO Y PAV)

## Anexo 7. Gráficas de diagramas de Black

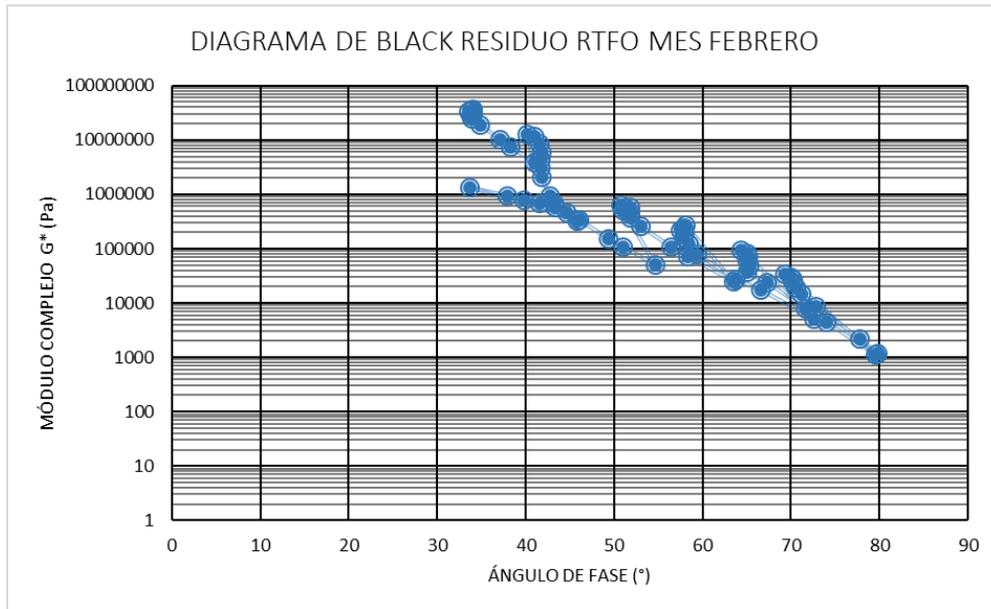


Diagrama de Black mes de febrero (RTFO)

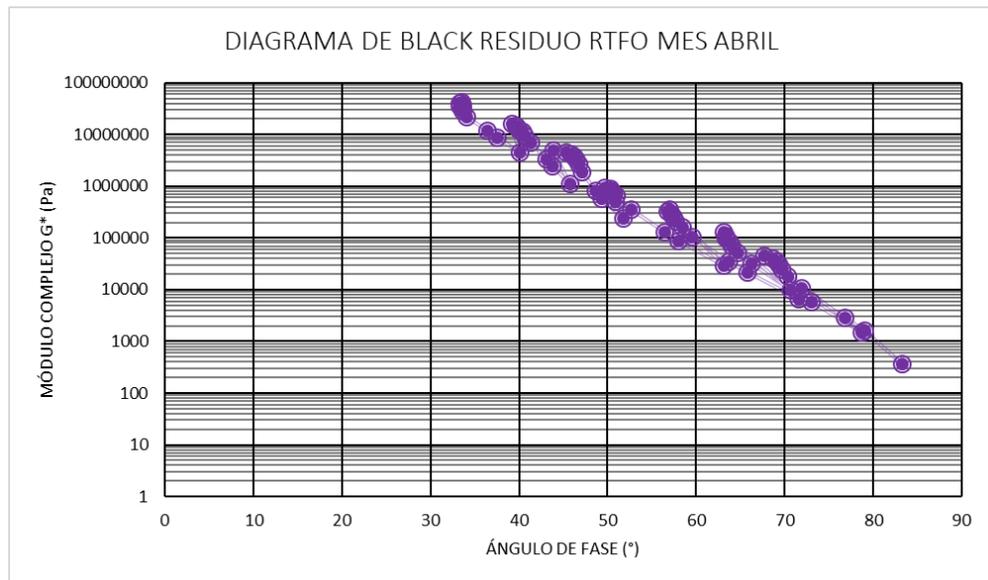


Diagrama de Black mes de abril (RTFO)

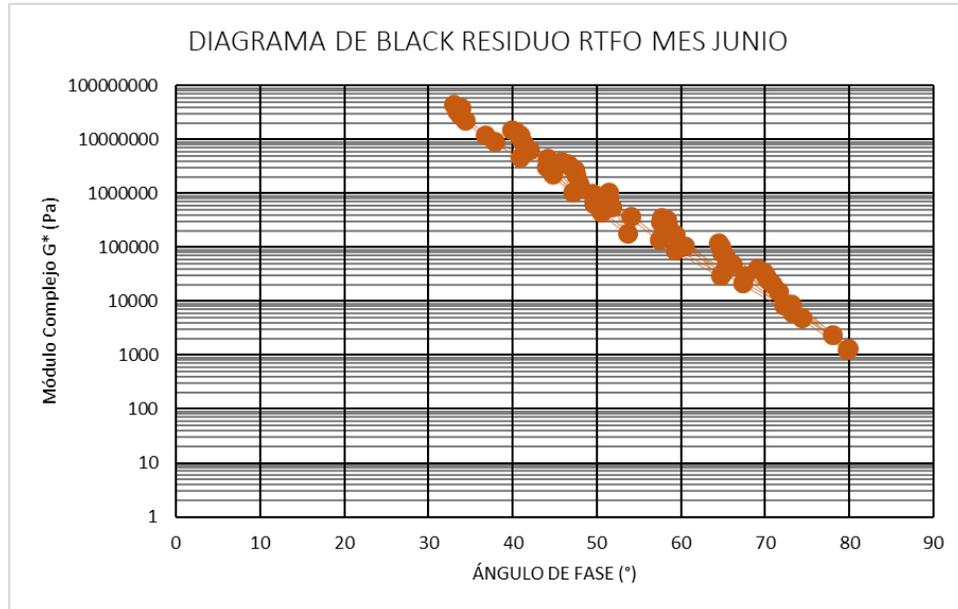


Diagrama de Black mes de junio (RTFO)

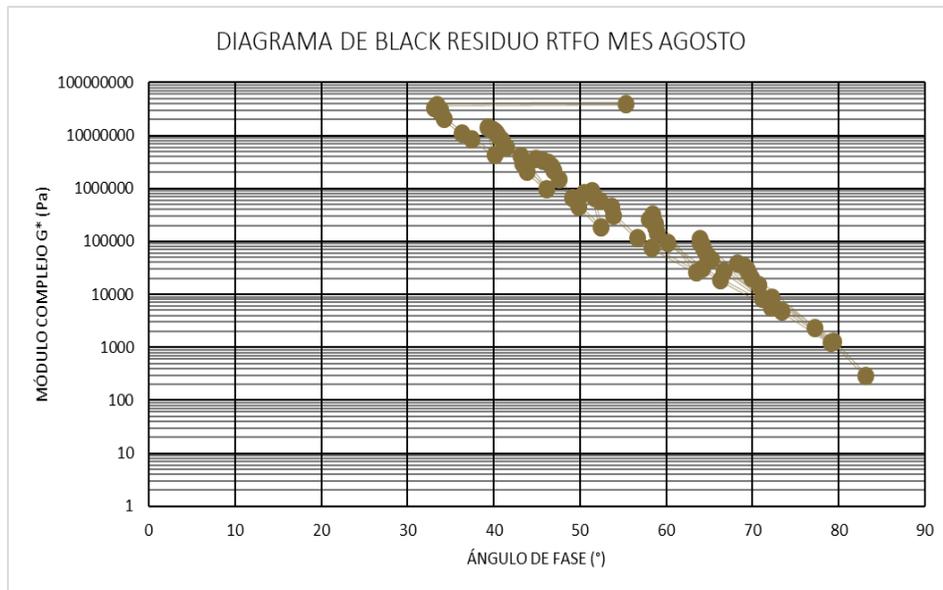


Diagrama de Black mes de agosto (RTFO)

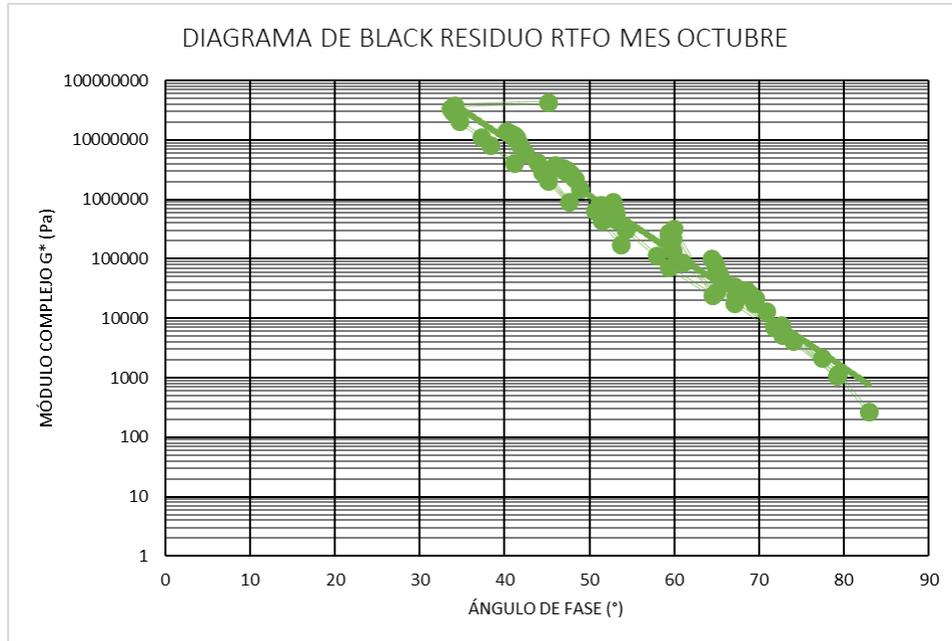


Diagrama de Black mes de octubre (RTFO)

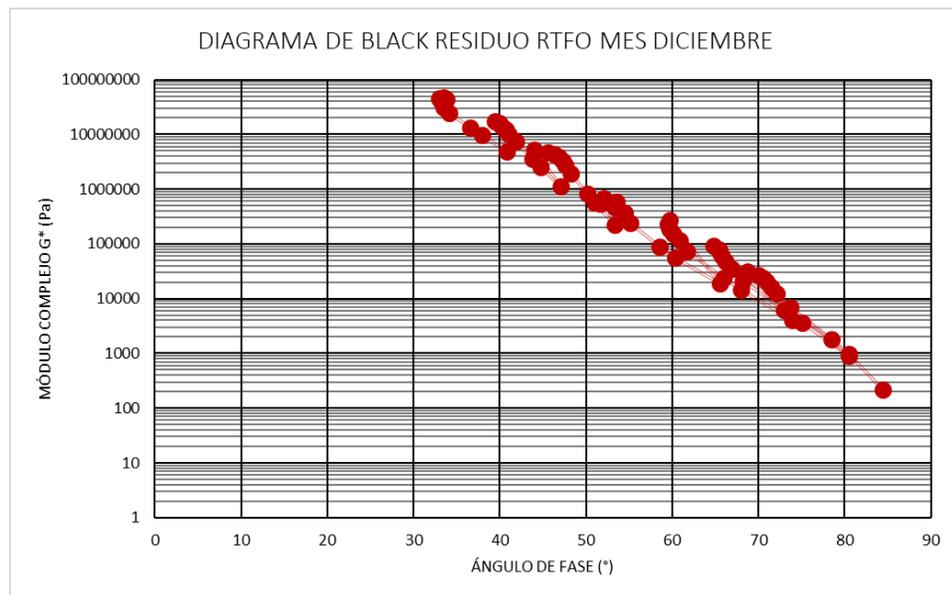


Diagrama de Black mes de diciembre (RTFO)

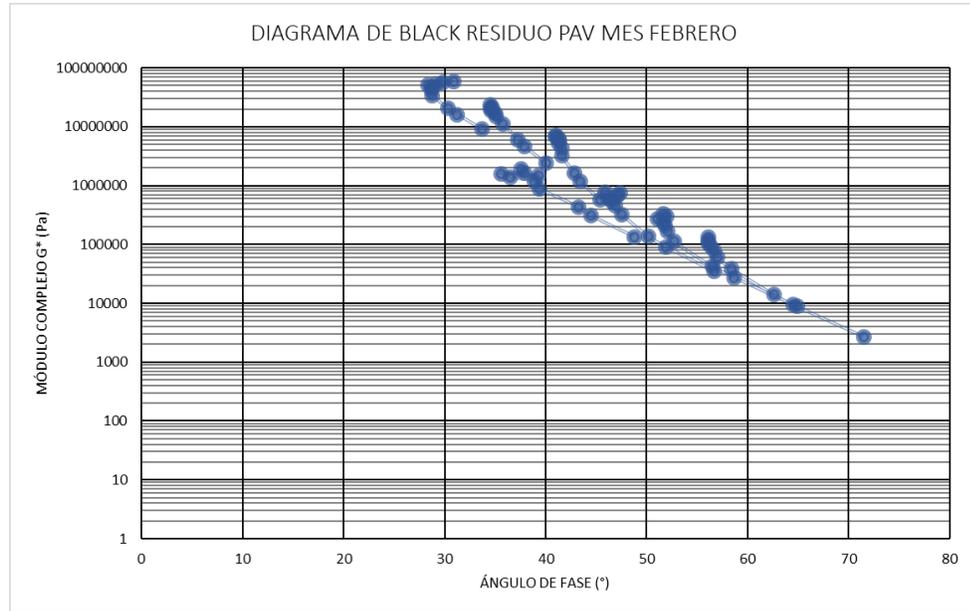


Diagrama de Black mes de febrero (PAV)

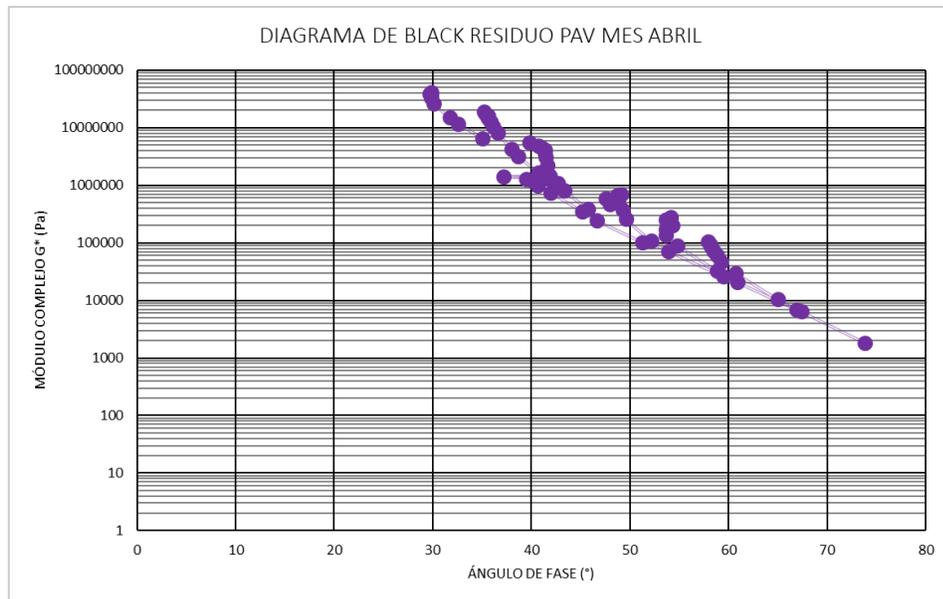


Diagrama de Black mes de abril (PAV)

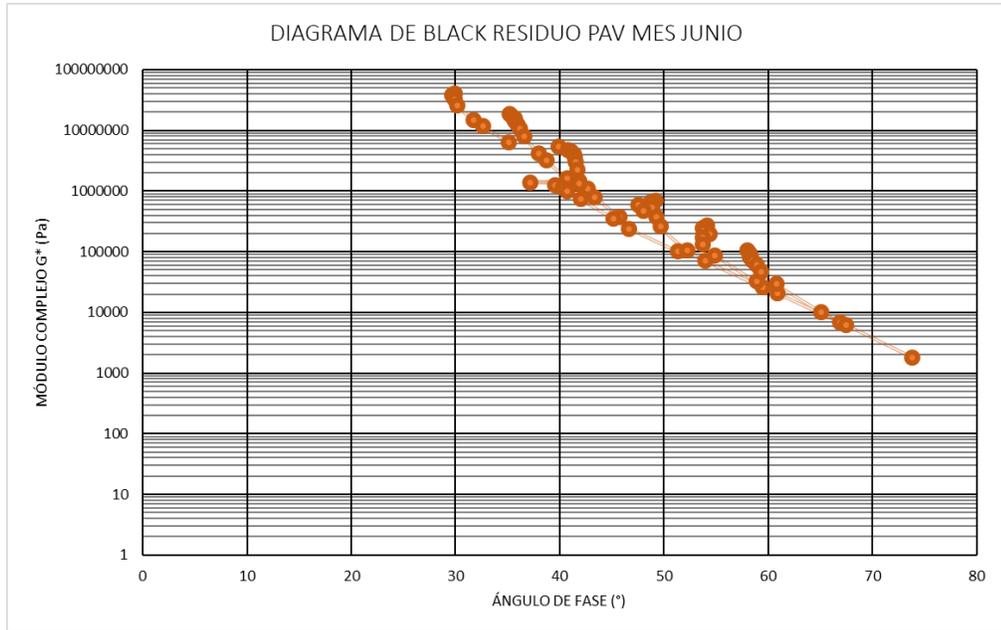


Diagrama de Black mes de junio (PAV)

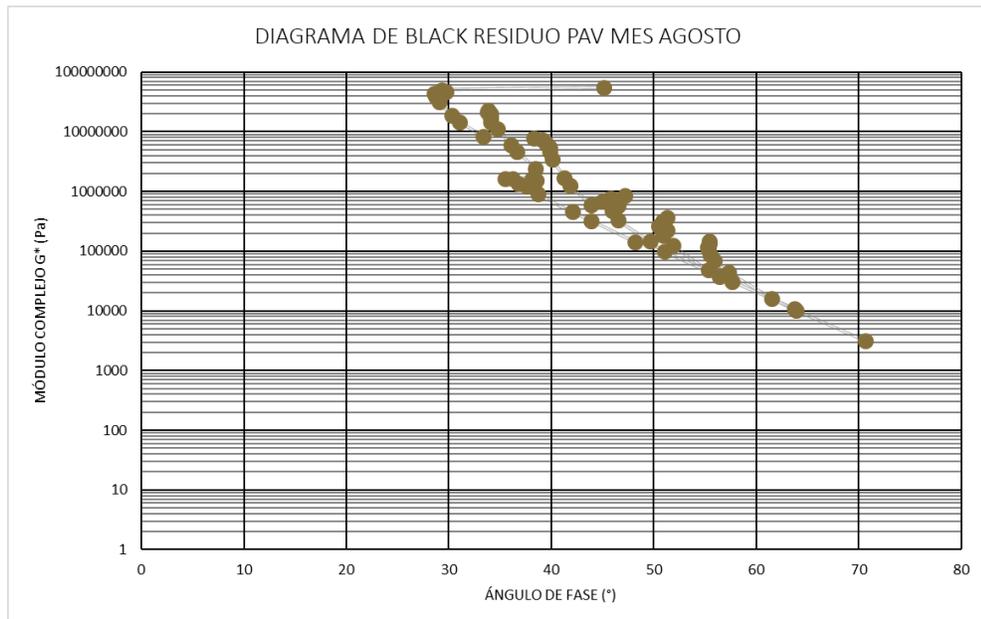


Diagrama de Black mes de agosto (PAV)

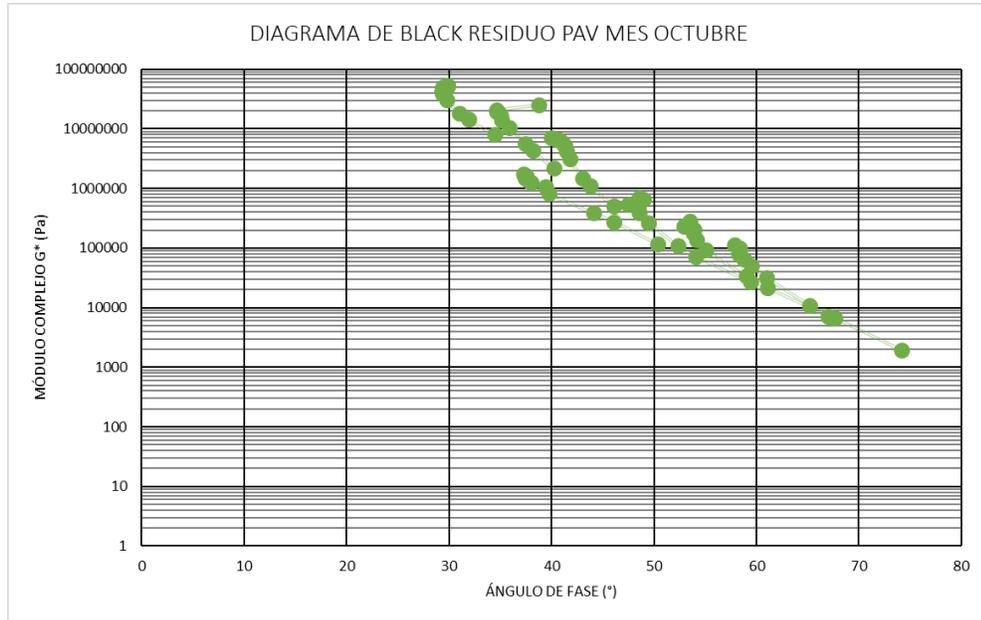


Diagrama de Black mes de octubre (PAV)

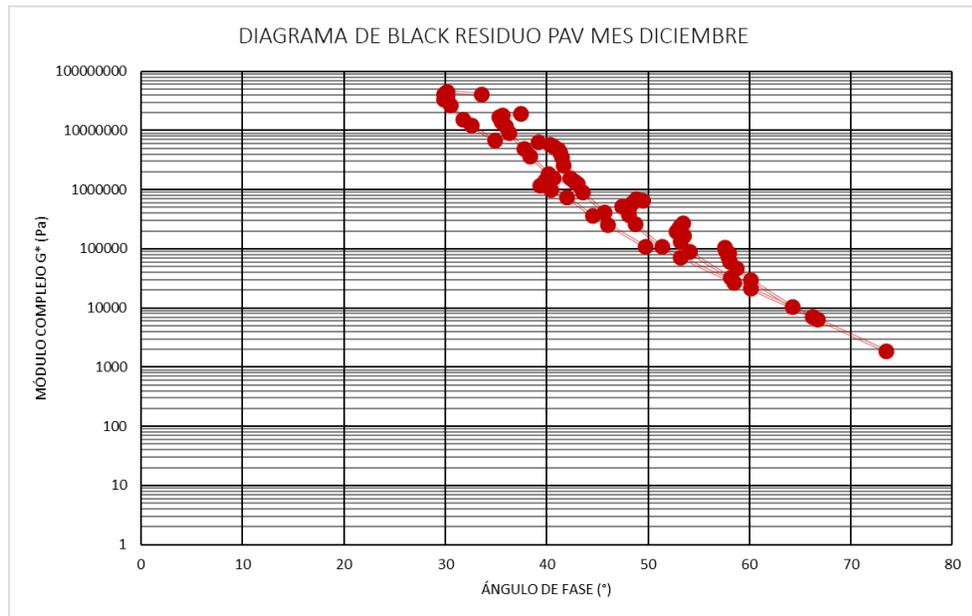


Diagrama de Black mes de diciembre (PAV)



## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Nosotras, **Pinargote Mendiburo Karol Andrea** y **Ramos Luna Karem Patricia**, con C.C respectivamente: # 0931234520 y # 0921993952 autoras del trabajo de titulación: **“CONTROL DE CALIDAD A CEMENTOS ASFÁLTICOS PRODUCIDOS EN LA REFINERÍA DE ESMERALDAS DURANTE EL 2018”** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de marzo de 2019

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

**Pinargote Mendiburo Karol Andrea**

**C.C: 0931234520**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_

**Ramos Luna Karem Patricia**

**C.C: 0921993952**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	"CONTROL DE CALIDAD A CEMENTOS ASFÁLTICOS PRODUCIDOS EN LA REFINERÍA DE ESMERALDAS DURANTE EL 2018"		
<b>AUTOR(ES)</b>	Pinargote Mendiburo Karol Andrea - Ramos Luna Karem Patricia		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Rolando Vila Romani		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	12 de marzo de 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	136
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Pavimentos, Asfaltos		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Viscosidad, Superpave, reológico, asfalto, curva maestra, diagrama de Black, $\Delta T_c$ , temperatura de transición.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> (150-250 palabras): En el presente trabajo de titulación se desarrolló el control de calidad de seis muestras de cemento asfáltico obtenidas de la Refinería de Esmeraldas en el año 2018. A las muestras se les realizó diversos ensayos de laboratorio, para su respectiva clasificación por grado de viscosidad (AC) y la clasificación por grado de desempeño (PG) basándonos en la tecnología Superpave de acuerdo a las normas correspondientes. Adicionalmente se realizaron ensayos y procedimientos de caracterización reológica avanzada, tales como: curvas maestras, diagramas de Black, parámetro $\Delta T_c$ y temperatura de transición, que proporcionaron información para ampliar el estudio del comportamiento de los ligantes asfálticos en estado original, con envejecimiento primario (RTFOT) y envejecimiento secundario (PAV) en las carreteras durante su vida útil. Realizando de esta manera comparaciones, recomendaciones y conclusiones de los resultados obtenidos para actualizar la problemática que presenta el asfalto ecuatoriano y tener una pauta para futuras investigaciones y mejoras.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-995136719 <b>Teléfono:</b> +593-983357570	E-mail: <a href="mailto:karito_perlita@hotmail.com">karito_perlita@hotmail.com</a> E-mail: <a href="mailto:kame_pawi@hotmail.com">kame_pawi@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Clara Glas Cevallos		
	<b>Teléfono:</b> +593-4 -2206956		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			