

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN- MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN

INGENIERÍA CIVIL



SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TÍTULO:

**“CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-30,
UTILIZADO ACTUALMENTE EN NICARAGUA”**

AUTORES:

**BR. KARLA MAGDALENA CARRILLO GONZÁLEZ
BR. JOSÉ ANTONIO CHÁVEZ CHÁVEZ**

TUTOR:

MSC. ING. WILBER PÉREZ FLORES

**MANAGUA, NICARAGUA
ENERO DE 2017**

INDICE

GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	I
ABREVIATURAS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN EJECUTIVO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5
1. CAPITULO I. DESCRIPCIÓN DEL ASFALTO ORIGINAL Y SUS PROPIEDADES REOLÓGICAS.....	6
1.1 Asfalto Original.....	7
1.2 Propiedades reológicas del asfalto.....	8
1.3 Etapas críticas del asfalto en servicio.....	9
1.4 Ventajas y Desventaja del uso de pavimentos.....	11
1.5 Zonificación climática.....	12
1.6 Clasificación del Grado PG.....	13
1.7 ¿Por qué se utiliza el cemento asfaltico AC-30?.....	14
1.8 ¿Qué es LanammeUCR.....	15
2. CAPITULO II. ENSAYOS REALIZADOS.....	16
2.1 Rolling Thin Film Oven.....	17
2.1.1 Materiales a utilizar.....	17
2.1.2 Procedimiento	18
2.2 Pressure Aging Vessel.....	19
2.2.1 Materiales a utilizar.....	19
2.2.2 Procedimiento	19
2.3 Multi Stress Creep and Recovery.....	21

2.3.1 Materiales a utilizar.....	21
2.3.2 Procedimiento	21
2.4 Reómetro de Corte dinámico.....	22
2.4.1 Procedimiento.....	23

3. CAPITULO III. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

REALIZADOS.....	24
3.1 Grado de desempeño del asfalto sin envejecer,.....	25
3.2 Grado de desempeño al asfalto envejecido por RTFO.....	28
3.3 Grado de desempeño a la mezcla envejecida RTFO + PAV..	29
3.4 Ensayo Multi Stress Creep Recovery (MSCR).....	30
3.5 Clasificacion de asfalto segun su grado de desempeño.....	31
CONCLUSIÓN.....	32
RECOMENDACIONES.....	33
BIBLIOGRAFIA.....	34
ANEXOS.....	35

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ahuellamiento o baches: son cavidades de diferentes tamaños y formas, que se producen en un pavimento como consecuencia de una desintegración localizada. Son causados generalmente por la debilidad del pavimento como resultado de escasez de asfalto, espesor de capa asfáltica demasiado delgada y un drenaje poco eficiente.

Asfalto: El asfalto es un ligante que se encuentra de distintas formas en la naturaleza, con hallazgos en estado puro o con una matriz de agregados pétreos gruesos o finos pero que generalmente se obtiene a partir de la refinación del petróleo.

Deformación permanente (J_{nr}): comportamiento ante un proceso de carga mediante el desarrollo instantáneo de deformaciones específicas, durante la descarga la deformación elástica se recupera de forma inmediata para quedar finalmente las deformaciones elásticas irreversibles.

Envejecimiento: El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos altera las propiedades fisicoquímicas del material y por ende la durabilidad de los pavimentos asfálticos.

Hidroplaneo: Es un fenómeno que provoca la falta de control del vehículo debido a la escasa o nula adherencia de los neumáticos a la superficie de rodamiento.

Mezcla asfáltica: son materiales visco elásticos cuyas propiedades dependen de la temperatura y de la frecuencia de la aplicación de cargas que condicionan su posterior comportamiento en servicio.

Multi Stress Creep and Recovery: Se conoce por sus siglas en inglés como MSCR, la cual significa.

Oxidación: Fenómeno químico en virtud del cual se transforma un cuerpo o un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que en dicho cuerpo o compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.

Reología: Relación entre esfuerzo y deformación en un sólido. Para unas condiciones dadas de presión y temperatura, el material responde a la aplicación de un esfuerzo primero con una deformación elástica que es directamente proporcional al esfuerzo, luego de una deformación plástica que crece más de prisa que el esfuerzo.

ABREVIATURAS

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
(Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para pruebas y materiales)

J_{nr}: Deformación permanente

LanammeUCR: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

MSCR: Multi Stress Creep Recovery (Fluencia de Estrés Múltiple y Recuperación)

PAV: Pressure Aging Vessel (Cámara de Envejecimiento a Presión)

PG: Performance Grade (Grado de Desempeño)

RTFO: Rolling Thin Film Oven (Horno de película delgada)

DEDICATORIA

Sin lugar a dudas dedico este trabajo a DIOS porque ha sido mi mayor apoyo durante esta etapa, me ha convencido de que con fe y esfuerzo puedes lograr lo que te propones.

A mis padres, Carlos Carrillo López y Emelina González Eugarríos quienes han formado en mí el deseo de superación.

A mis hermanos; Lissethe Carrillo y Elvis Carrillo que han estado alentándome desde que inicié esta carrera.

A mis sobrinos (as), quienes me motivan a seguir adelante. Y por supuesto ansío tanto verlos triunfar también.

A las personas que ya no están entre nosotros, mi tío Mauricio Dávila que me dio muchos consejos, y se alegró tanto cuando supo que estudiaría Ingeniería Civil, mi tío representa un lindo recuerdo en mi vida. A mi madrina Rosa Ortega, quien siempre quiso lo mejor para mí y veló por mi bienestar desde pequeña. Estoy segura que ellos estarían feliz de verme como Ingeniera.

Por último pero no menos importantes, quiero dedicarles este trabajo a mis compañeros de clase: Br. Emilio Olivero, Br. Josué González y Br. Luvy Torrez, quienes perdieron la vida durante una fatídica gira de campo. Y quienes al igual que yo ansiaban tanto ser llamados “ingenieros”.

Karla Magdalena Carrillo González

AGRADECIMIENTOS

Gracias a DIOS por darme la vida, por su amor incondicional, por crear oportunidades a lo largo de mi vida que permiten valorar lo que soy y lo que tengo, y por acercarnos a las personas indicadas para la realización de este trabajo.

De manera muy especial agradezco a mis padres porque confiaron en mí desde que decidí emprender mis estudios universitarios y a su vez me han brindado la ayuda económica y las palabras de aliento cuando flaqueé.

Les doy las gracias a todos mis familiares que han contribuido directa e indirectamente en mi formación académica, personal y espiritual.

Agradezco a mi compañero y amigo entrañable José Antonio Chávez Chávez que ha confiado en mí para desarrollar juntos este trabajo.

Agradezco a mis amigos y compañeros de clase que a lo largo de estos años hemos compartido buenos momentos que con toda seguridad atesoraremos para toda la vida.

A todos mis maestros de esta Alma Máter, que con su paciencia y sus conocimientos lograron preparar a una ingeniera más. En especial quiero agradecer a nuestro tutor, Msc. Ing. Wilber Pérez Flores por ser la persona quien logró el enlace con LanammeUCR y por su apoyo en la realización de este documento.

Mi reconocimiento al Ing. Salvador Mayorga, quien facilitó la muestra de asfalto analizada y fue muy amable en abrirnos las puertas de PAVINIC, S.A para saciar cada duda que teníamos acerca de este tema novedoso.

A su vez agradezco al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) y al personal encargado de realizar las pruebas, sin duda el apoyo de ellos (as) fue fundamental para la culminación de este trabajo.

A todos ellos, ¡Gracias!

Karla Magdalena Carrillo González

DEDICATORIA

Honra a tu padre y a tu madre, como Jehová tu Dios te ha mandado, para que sean prolongados tus días y para que te vaya bien sobre la tierra que Jehová tu Dios te da. Dt 5:16

Uno de las mayores satisfacciones que siento hoy en mi vida es el hecho de culminar mi carrera profesional; pero mayor es el agrado de saber que fue posible gracias al apoyo desmedido de parte de mis padres: **Martha Lorena Chávez Cano y José Bernardo Chávez Peña** para quienes sin duda alguna todo mi esfuerzo y esmero durante estos años es dedicado a ellos, ya que, si bien es cierto hoy llego a ser un profesional pero el mérito es de ellos, puesto que fueron capaces de comprender que una meta en la vida se logra hasta que se culmina sin importar los medios, aunque esto obligue a hacer un esfuerzo que muchas veces parecía inalcanzable.

También aprovecho la oportunidad para dedicar mi trabajo a mi hija **Alice Renneé** y su madre **Renneé Maríam** ya que con ellas he aprendido que en la vida vale la pena hacer un esfuerzo extra para lograr lo que se quiere; además que ellas formaron en mí el deseo de cada día dar lo mejor y esperar con paciencia para lograr mis metas. Por ello y más aprovecho la oportunidad de darles realce en mi trabajo ya que al fin de cuentas mi dedicación para ellas permanecerá hasta el día que Dios me permita estar junto a mis Dos Princesas.

Por ultimo aprovecho la oportunidad para retribuir el apoyo de mis hermanos **Aura Elena, Juan José y Martha Rosa Chávez Chávez** ya ellos estuvieron pendientes durante estos años, y que también formaron parte importante en este logro.

José Antonio Chávez Chávez

AGRADECIMIENTO

Siempre he pensado que el agradecimiento debe demostrarse con más que palabras, es por ello que el compromiso no termina con la coronación de mi carrera profesional.

Como no agradecer a Dios el gran privilegio que me permite de ver coronada mi carrera profesional, a El más que a nadie le debo mi agradecimiento porque una vez más demostró que es fiel y que cumple lo que desde el principio me prometió; reconozco que estuvo conmigo en cada momento de dificultad, fue quien confortó mi vida en las noches de desvelo y sobre todo fue El quien me dio la sabiduría necesaria para lograr mi objetivo.

También agradezco a mis padres el gran esfuerzo demostrado para que juntos lográramos la meta, a ellos que estuvieron pendientes de proveer los recursos hasta el día de hoy; que supieron responder a la labor de padres de la mejor manera, a ellos le digo muchas gracias por lo que hasta hoy hemos logrado como familia, a partir de este año me toca a mí recompensar lo que ya ustedes hicieron; y velar por el tiempo que nos quede juntos.

Además agradezco a **Renneé Mariam Cuevas Velázquez** por apoyarme en todo tiempo; por compartir los bonitos y malos momentos dentro y fuera del salón de clases, al fin de cuentas fue como compañera de clases que inicio nuestra relación, gracias por darme a mi más grande regalo de este año, a mi hija **Alice**, espero que juntos podamos disfrutar lo que juntos hemos logrado.

También retribuyo el honor a mi compañera de trabajo **Karla Magdalena Carrillo González** por haber iniciado y culminado este trabajo, gracias por ayudarme en cada dificultad y por “soportarme en los momentos de contradicción durante todo este tiempo”

José Antonio Chávez Chávez

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente trabajo contempla una caracterización reológica del cemento asfáltico AC-30, el cual permitirá evaluar de una manera puntual las propiedades del asfalto de acuerdo a normas y procedimientos internacionales.

Dicho estudio se desarrolló gracias a la colaboración conjunta entre el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica y el MSc. Wilber Pérez, profesor de planta de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, mismo que permitió realizar el contacto directo con esta institución.

Es importante mencionar que este trabajo surge gracias a la iniciativa por parte del laboratorio costarricense de conocer la calidad de los asfaltos utilizados en Centroamérica. Por tal motivo fue necesario enviar un galón de asfalto por cada país, tomando en cuenta la variedad de asfaltos existentes.

En cuanto a los resultados para nuestro país fue necesario la espera de un mes para iniciar su respectiva interpretación y de esta forma poder generar un aporte al área de carreteras el cual permitirá obtener el mejor provecho del asfalto AC-30.

INTRODUCCION

Guiados por el objetivo de aprovechar al máximo las propiedades reológicas se presenta un estudio que incorpora el análisis de las características físicas y mecánicas del cemento asfáltico AC-30, ya que es el único que tiene las propiedades óptimas para nuestro país. Dicho trabajo fue realizado en la ciudad de Managua en el periodo comprendido entre el mes de Septiembre y Diciembre del año 2016, para ello fue necesario enviar una muestra, en presentación de un galón hacia el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) para su debido análisis.

El presente trabajo contempla procedimientos de envejecimiento a corto y largo plazo, los que simulan las condiciones del asfalto puesto en carretera en un lapso de tiempo entre 7 y 10 años, lo cual ayuda a tomar decisiones preventivas con respecto a su vida útil.

Otro estudio muy importante que se incorpora es la prueba de recuperación y fluencia del asfalto a esfuerzos repetidos mediante el reómetro de corte dinámico, el cual indica los porcentajes de recuperación elástica y deformación permanente que sufre el asfalto al ser sometido a cargas externas. Es de suma importancia mencionar que los esfuerzos inducidos durante la prueba (MSCR) son de 0.1 y 3.4 kPa ya que son los esfuerzo regidos por la ASTM 7405.

Además se presenta la clasificación por su grado de desempeño que demuestran las temperaturas máximas e intermedias las cuales el asfalto puede trabajar sin sufrir daños permanentes en su estructura. Con ello se logra determinar el tipo de tránsito que soportará la mezcla asfáltica.

ANTECEDENTES

Siendo el asfalto uno de los material más antiguos utilizado como revestimiento de caminos e impermeabilizante natural; es de imaginarse que deben existir en nuestro país métodos que involucren un gran desarrollo tecnológico en esta área sin embargo los resultados en nuestras vías de carreteras demuestran el déficit que existe en la parte técnica. Esta problemática se asocia directamente a la falta de recursos con la que cuenta nuestro país, sumado al desinterés por parte de las autoridades de incursionar en las propiedades reológicas del asfalto; siendo éste el punto de partida para lograr mezclas asfálticas de alta calidad y adecuadas a las condiciones climato-ambientales propias de cada zona.

No obstante esta temática cuenta con pocos estudios encaminados a conocer las propiedades reológicas del cemento asfáltico AC-30, la investigación: “EXPERIENCIA NICARAGÜENSE EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO POR GRADO DE DESEMPEÑO (PG)- SUPERPAVE” realizada en el 2013 contempla un estudio reológico que demostró la eficiencia del AC-30 para nuestro país, es importante mencionar que los ensayos se realizaron en el mismo laboratorio (LanammeUCR). Este estudio no contempló el ensayo MSCR, por lo tanto se desconoce la deformación permanente que poseía dicho asfalto.

Cabe señalar que Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) es el único centro especializado a nivel de Centroamérica en realizar estudios ligados al asfalto.

Otro antecedente que se puede mencionar es el hecho de que la empresa PAVINIC, S.A realiza estudios esporádicamente para evaluar las condiciones físicas y químicas del asfalto que comercializan, la limitante que se presenta es que dichos resultados no son publicados y por lo tanto no es una información disponible a todo público.

JUSTIFICACIÓN

Nicaragua es un país que a partir de los años 80's ha venido mejorando su infraestructura vial, es necesario generar los métodos y conocimientos básicos para efectuar el diseño de carpetas asfálticas que cumplan con las exigencias que el tránsito nacional demanda, sin embargo muchos de los proyectos ejecutados durante los últimos 20 años han sido afectados por las inclemencias del clima, entre las cuales se pueden mencionar las altas temperaturas producto del calentamiento global, así como las variaciones desordenadas en los niveles de precipitaciones, es necesario mencionar estos fenómenos ya que sumados al incremento de tránsito pesado son los principales agentes que provocan la destrucción de las estructuras de pavimentos utilizadas actualmente.

Algunos de los factores asociados obedecen a la mala calidad de los materiales utilizados y la colocación misma de las carpetas asfálticas, pero también otro de los factores que inciden en el mal desempeño de las carreteras es la deficiente conformación de la base y sub-base, ya que de ellas también depende que se cumpla el periodo de vida útil para el cual fueron diseñadas.

A esto también se le suma un aspecto importante que consiste en la poca información, escasos recursos para los respectivos análisis y sobre todo la falta de interés por incursionar en la reología misma. Sin embargo este estudio nos permitirá conocer la calidad de asfalto con la que cuenta el país. Así como el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la Refinería.

Con el fin de difundir y conocer las propiedades Reológicas se ha decidido realizar un estudio integral del AC-30 que pretende proporcionar el conocimiento elemental que servirá de material de consulta para los posibles diseñadores, consultores y profesionales dedicados al área de carreteras y suelos, además éste permitirá explotar al máximo cada una de las propiedades del material como tal.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- 1- Caracterizar reológicamente el cemento asfáltico AC-30, utilizado actualmente en Nicaragua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1- Realizar el proceso de envejecimiento a corto plazo (RTFO) y largo plazo (PAV) para el cemento asfáltico AC-30.
- 2- Determinar el grado de desempeño del asfalto original y el asfalto envejecido.
- 3- Conocer la deformación permanente del cemento asfáltico AC-30 mediante la prueba Multi Stress Creep Recovery.
- 4- Clasificar el cemento asfáltico AC-30 según el grado de desempeño.

CAPITULO I. DESCRIPCIÓN DEL ASFALTO ORIGINAL Y SUS PROPIEDADES REOLÓGICAS

1.1 Asfalto Original

El asfalto es un ligante que se encuentra de distintas formas en la naturaleza, con hallazgos en estado puro o con una matriz de agregados pétreos gruesos o finos pero que generalmente se obtiene a partir de la refinación del petróleo (Ver imagen 1) y que en nuestro país es el de mayor utilización. Éste posee características estructurales que se componen de partículas fluidas y sólidas pero que no son visiblemente notorias.



Imagen 1. Lago de Asfalto en Sucre, Venezuela Recopilado de: <https://i.blogs.es/397b79/pi/original.jpg>

El cemento asfáltico es un material visco-elástico porque exhibe simultáneamente características viscosas. A altas temperaturas (mayor a 100 °C), el cemento asfáltico actúa casi como fluido viscoso, y a muy baja temperatura (menor a 0 °C) se comporta como un sólido elástico. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de ambos estados, un fluido viscoso y un sólido elástico. (Garnica & Delgado & Sandoval, 2005)

Al estar conformado por moléculas orgánicas, reacciona directamente con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina “oxidación” y cambia la estructura y la composición de las moléculas de asfalto, haciendo más dura y frágil la estructura de asfalto, dando origen al “endurecimiento por envejecimiento”. La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas; es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar la mezcla asfáltica para permitir la elaboración, mezclado y la compactación en carretera. (Garnica et al., 2005)

Debido a que el fenómeno de envejecimiento de los asfaltos, altera las propiedades fisicoquímicas del material, se puede interpretar que las propiedades de los asfaltos cambian con el tiempo. Cuando se procesan los ensayos de envejecimiento de los ligantes asfálticos, éstos se someten a condiciones de temperatura y presión que influyen directamente en el comportamiento fisicoquímico e involucran otros cambios a nivel estructural. (Vargas & Reyes, 2010)

1.2 Propiedades reológicas del asfalto

La reología estudia la respuesta elástica de un material cuyas propiedades se vean afectadas por la temperatura y el tiempo de aplicación de una carga, excluyéndose los fenómenos de ruptura ocasionados.

Las propiedades reológicas del asfalto dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes, las cuales varían de acuerdo con el origen de los crudos de petróleo. El objetivo de la reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas.

El comportamiento reológico del ligante tiene una influencia significativa en las propiedades de la mezcla asfalto-agregado (ahuellamiento, fatiga y susceptibilidad térmica).

La principal característica reológica de los asfaltos se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo. Con los residuos obtenidos de los ensayos de envejecimiento de corto y largo plazo (RTFO y PAV respectivamente) y teniendo en cuenta los cambios que han sufrido con respecto a los asfaltos originales, se determinan las propiedades reológicas de cada uno de los ligantes asfálticos envejecidos. (Reyes, F. 2003).

Es de suma importancia señalar que los ensayos de caracterización reológica se ejecutaron empleando un reómetro de corte dinámico (DSR), siguiendo los lineamientos establecidos en la especificación AASHTO T 315.

1.3 Etapas críticas del asfalto en servicio

Las fallas asociadas a la reiterada aplicación de las cargas de tránsito son el agrietamiento por fatiga, la deformación permanente y la fisuración térmica.

El agrietamiento comienza en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga aplicada. Después de repetidas cargas de tránsito las grietas se conectan formando polígonos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo, extendiéndose longitudinalmente por la carpeta asfáltica en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito es decir solo donde pasa el neumático.

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Por otra parte una falla por ahuellamiento se debe a una compresión en la sub-rasante y/o la carpeta asfáltica producto de las cargas aplicadas por el tránsito.

Para evitar agrietamiento por fatiga, la mezcla debe ser elástica pero no tan rígida hasta que se fragilice (la rigidez debe ser la suficiente para que la mezcla experimente un comportamiento dúctil), por ese solo se admite un módulo de fatiga igual o menor a 5000 KPa.

A su vez la fisuración térmica se caracteriza por la aparición de fisuras transversales a lo largo las cuales no se asocia a las cargas del tránsito. Cuando la carpeta se encuentra sobre una losa de concreto asfáltico, el fenómeno puede atribuirse a la reflexión de las grietas que existen en la losa.

La carpeta se contrae debido a las bajas temperaturas, originando esfuerzos de tensión dentro de la capa; en algún lugar a lo largo de la carpeta se excede la resistencia a la tracción, y la capa asfáltica se fisura. (Garnica, P., Delgado, H., Sandoval, C. 2005)

El ligante asfáltico juega un papel importante en la fisuración por baja temperatura. Las mezclas asfálticas elaboradas con un cemento asfáltico de naturaleza dura o propensa a la oxidación, serán más susceptibles a presentar este tipo de deterioro.



Figura 2. Fallas por agrietamiento y ahuellamiento

Fuente: Corredor (2008)



Figura 3. Fallas por susceptibilidad térmica

Fuente: Garnica, P., et. (2005)

Recopilado por:

www.imt.mx/archivo...blicaciontecnica/pt272.pdf

La deformación permanente en pavimentos flexibles equivale a la acumulación de pequeñas deformaciones generadas con cada aplicación de carga. Esta deformación es irrecuperable.

La aparición de roderas en un pavimento flexible se debe principalmente a dos causas: deformación permanente en las capas subyacentes, y/o deformación permanente en la carpeta asfáltica.

Teniendo que la deformación permanente en las capas subyacentes son aquellas que se produce por la aplicación repetida de carga a la sub rasante, la sub-base, o la base por debajo de la carpeta asfáltica.

De igual manera cuando una mezcla asfáltica presenta roderas, es evidente que su resistencia al corte es demasiado baja para resistir las cargas pesadas repetidas a las que está sujeta.

1.4 Ventajas y Desventajas del uso de pavimentos

Ventajas

- Clima: resistente a variaciones de temperatura, pueden contraerse y expandirse sin sufrir daños.
- Flexibilidad: permite adaptarse a los cambios del suelo.
- Reparación: si las calzadas de asfalto están agrietadas es más fácil de reparar que las de concreto.
- Costo: es más barato que el uso de concretos para caminos, sobre todo a gran escala.

Desventajas.

- Durabilidad: Es inferior a las superficies de concreto. Este incrementa su resistencia en el tiempo.
- Resistencia: el derrame de gasolina y diésel provoca daños. No resiste los efectos de la intemperie.
- Resistencia a altas temperaturas: se ve afectado, se vuelve pegajoso, se volatilizan algunos de los componentes.
- Deformabilidad: en zonas de frenado y arranque de vehículos, tiende a sufrir deformaciones.
- Seguridad: puede provocar el fenómeno de hidropneumático de vehículos.

1.5 Zonificación climática.

Uno de los parámetros más importantes que determina la calidad y vida útil del cemento asfáltico AC-30 es la temperatura a la cual está expuesta, el uso de datos meteorológicos de 17 estaciones facilitados por INETER, determina la temperatura máxima y mínima promedio. El grado de fiabilidad de los datos presentados es de un 98 %.

Si se esperan niveles de tránsito especialmente altos, el diseñador deberá considerar la selección de un grado de aglutinante, más alto para la temperatura alta. En cuanto a la cantidad de Ejes Equivalentes de Cargas (Esal's) estimados para Nicaragua no superan los 21 millones de Esal's considerando periodos de diseño de 20 años.

Sin embargo se deberá de tomar en cuenta que la variación de temperatura durante el periodo de vida útil es considerable y esto afecta directamente las propiedades de la mezcla asfáltica.

Estación	Temperatura intermedia del pavimento (°C)	Temperatura Máxima del Pavimento (°C)
Managua	37.6	62.2
Masatepe	38.1	58.1
Corinto	40.0	62.0
Nandaime	41.3	60.5
Bluefields	39.6	61.6
Puerto Cabezas	39.7	60.7
San Carlos	38.8	61.0
Chinandega	43.5	62.8
Condega	33.7	61.5
Jinotega	34.9	55.5
Juigalpa	38.2	61.7
León	38.2	60.4
Masaya	39.7	59.4
Muy Muy	37.3	61.6
Ocotal	33.7	61.5
San Isidro	35.2	60.1
Rivas	37.4	58.8

Tabla 1. Zonificación climática de algunas ciudades del país. Fuente: Experiencia nicaragüense en la implementación de ensayos para la determinación del tipo de cemento asfáltico por grado de desempeño (PG)-SUPERPAVE

1.6 Clasificación del Grado PG

La metodología para clasificación de asfaltos por grado PG presenta algunas debilidades, ya que no permite discernir entre asfaltos que, aunque cumplen con el grado PG, no tendrán un buen desempeño en el pavimento en términos de su vida útil.

Recientemente se ha incorporado el parámetro “**Jnr**” con la finalidad de reforzar el grado PG, ya que predice de mejor forma el comportamiento futuro del asfalto en el pavimento.

Para predecir el desempeño del asfalto en un pavimento y que éste cumpla con la vida útil diseñada para el mismo, “**Jnr**” (Non-recoverable Creep Compliance) existe como un parámetro efectivo y probado. “**Jnr**” es la deformación no recuperable (deformación permanente) generada al aplicar una unidad de esfuerzo. Este valor es calculado de la siguiente manera:

$$J_{nr} = \frac{\text{Deformación no recuperada}}{\text{Esfuerzo aplicado}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Fuente: Sandoval (2013)

Este parámetro se calcula a partir de los datos obtenidos de la prueba de MSCR. El uso de la clasificación por grado PG en conjunto con “**Jnr**”, ofrece información muy valiosa ya que permite evaluar propiedades del asfalto como:

- Deformación permanente generada por unidad de esfuerzo.
- Respuesta elástica.
- Dependencia del comportamiento a diferentes niveles de esfuerzo.
- Memoria elástica.
- Capacidad elástica real.
- Deformación total acumulada.

Este conjunto de propiedades permite, a partir de las condiciones climatológicas existente en la zona del proyecto y del número de ejes equivalentes considerados para el mismo, seleccionar asfaltos óptimos.

Cabe señalar que esta prueba ocurre con pastilla de asfalto RTFO en la que se determinó $G^*/\text{sen}\delta$ y a la misma temperatura por lo que no hay que manipular la muestra, requiriendo solo de un minuto de reposo antes de que inicie la prueba MSCR. Sandoval (2013)

1.7 ¿Por qué se utiliza el cemento asfáltico AC-30?

Siendo Nicaragua un país tropical necesita de un asfalto capaz de soportar altas temperaturas, y no tan vulnerable a las deformaciones permanentes. Dentro de la gama de cementos asfálticos están los AC- 05, AC-10, AC-20, AC-30, etc. Resulta que no todos ellos presentan las propiedades viscoelásticas necesarias ni soportan el tráfico al cual nuestras carreteras están expuestas.

Debido a esto la refinería en Nicaragua no prepara ni suministra una mezcla distinta al cemento asfáltico AC-30.

Una de las empresas encargadas de comercializar la mezcla asfáltica en el país es PAVINIC, S.A la cual facilitó un galón del AC-30 para su estudio en los Laboratorio de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR)

Al cemento asfáltico AC-30 se le practicaron ensayos que exigen la especificación de la ASTM para caracterizarlo, mostrando así que el asfalto cumple con los requisitos mínimos de calidad para ser utilizado en la fabricación de mezclas asfálticas. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Especificaciones tradicionales del AC-30

N°	ANÁLISIS	MÉTODOS ASTM	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
1	VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	3,360	3,000 ± 600
2	VISCOSIDAD, 275°F (135°C); cSt	D 4402	525.9	350 min.
3	PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5S;mm/10	D 5	54	50 min.
4	PUNTO DE DESTELLO,COC; °C	D 92	338	230 min.
5	PUNTO DE ABLANDAMIENTO; °C	D 36	52.8	N.E
6	GRAVEDAD ESPECIFICA, A 60° F	D 70	1.037	N.E
7	DUCTILIDAD A 25° C, cm	D 113	>150	40 min.
8	SOLUBILIDAD IN TRICLOROETILENO,min, %	D 2042	99.96	99 min.
	ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFO			
9	VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	7,820	12,000 máx.
10	PÉRDIDA DE MASA, % Wt	D 2872	0.039	1.0 máx.
11	DUCTILIDAD A 25° C, cm	D 113	150+	40 min.

Fuente: UNO NICARAGUA, S.A

1.8 ¿Qué es LanammeUCR?

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), es una entidad académica de investigación adscrita a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Fundado en la década de los cincuenta, es un Laboratorio Nacional especializado en la investigación aplicada, la docencia y la transferencia tecnológica en el campo de la protección de la infraestructura civil, vial y líneas vitales.

Específicamente en los laboratorios de Infraestructura Vial del LanammeUCR brindan servicios para la caracterización y diseño de materiales componentes de estructuras de pavimento, así como la evaluación funcional y estructural de pavimentos existentes.

Además se encuentra un Laboratorio de Ligantes Asfálticos, el cual se ha especializado en asfaltos, emulsiones asfálticas, asfaltos rebajados, así como los asfaltos modificados. Los asfaltos no sólo son caracterizados por su grado de viscosidad y penetración, sino también son caracterizados por su grado de desempeño, ya que el laboratorio cuenta con equipos de alta tecnología para el control y el envejecimiento.

Los equipos y servicios se enfocan en: la caracterización de asfaltos por medio del reómetro dinámico de corte (DSR) para la evaluación de las propiedades reológicas y su clasificación mediante la metodología del grado de desempeño (PG) y el diseño de mezclas asfálticas por la metodología SUPERPAVE®. *(Recopilado de www.lanamme.ucr.ac.cr)*

CAPITULO II.

ENSAYOS REALIZADOS

2.1 Rolling Thin Film Oven (RTFO):

El ensayo de “Horno de película delgada rotacional”, con los métodos de ensayo de ASTM D 2872 y AASHTO T 240; permite conocer el comportamiento ligante tanto en el proceso de mezclado en planta como de la compactación en carretera.

El control de la temperatura, se lleva a cabo con un control digital, permitiendo ajustar los parámetros de temperatura.

Cuenta con un sistema giratorio con capacidad para 8 frascos de vidrio templado que viene incluidos con el equipo.

El asfalto recubren el frasco en la totalidad de su pared y tiene un área mayor de posición del ligante por lo tanto la película es aún más delgada, el flujo de aire hace que el ligante pierda más rápido los volátiles por la acción del aire y consigue una mayor interacción con el aire provocando que se envejezca en un periodo menor.

Simula un envejecimiento de corto plazo en campo, cuyo efecto corresponde a las primeras horas de fabricación de la mezcla asfáltica, al transporte, colocación y compactación de la misma. El tiempo estimado de envejecimiento de corto plazo, está condicionado para tres horas desde el momento en que se retira de la planta de producción hasta la colocación y compactación en obra. (PITRA- LanammeUCR, 2014)

2.1.1 Materiales a utilizar

- Recipiente cilíndrico
- Horno rotatorio
- Balanza semi- analítica



Imagen 4. Horno de Película Delgada Rotacional

Fuente: lemco.cl/services/18



Imagen 5. Recipiente cilíndrico utilizado para el procedimiento.

Fuente:

www.academia.edu/11642055/APROXIMACION_AL_CONOCIMIENTO_SUPERPAVE

2.1.2 Procedimiento

- 1- Se pesa la masa del recipiente cilíndrico en la balanza semi- analítica.
- 2- Después agregamos 35 gramos de asfalto en el recipiente cilíndrico.
- 3- Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- 4- Se toma la masa del asfalto junto con la del recipiente cilíndrico y es así como se obtiene la masa inicial del ligante asfáltico.
- 5- Luego, se deben ingresar horizontalmente en cada uno de los orificios que contiene el carro o rueda interna del horno giratorio, permanecerá a una temperatura de 163°C durante 85 minutos. Durante éste tiempo y temperatura, el carro girará horizontalmente mediante la aplicación de un flujo de aire caliente con presión y velocidad constantes.
- 6- Después de transcurrido el tiempo se notará el recipiente cilíndrico envuelto en la mezcla y se lleva el recipiente a la balanza para determinar cuál fue la pérdida obtenida. Esta pérdida de masa no debe exceder el 1% de la masa inicial.

Cabe señalar que la mezcla que sale de la prueba del RTFO es utilizada luego para MSCR y PAV.

2.2 Pressure Aging Vessel (PAV):

Este ensayo de “Envejecimiento a presión” con los métodos de ensayo ASTM D 6521 y AASHTO R 28 simula el envejecimiento por oxidación del ligante asfáltico en una mezcla convencional equivalente a un período de servicio entre 7 y 10 años. Conlleva el deterioro de la carpeta asfáltica ocasionado durante su vida útil producto del tiempo, factores climáticos, temperatura y/o servicio de la vía. (PITRA- Lanamme, UCR, 2014)

Se utiliza para medir el asfalto bajo condiciones de fatiga a temperaturas intermedias o bajas.



Imagen 6. Horno a presión PAV

Fuente: [htt://goplek-net.s3.amazonaws.com/52017d4f3b284-new.jpg](http://goplek-net.s3.amazonaws.com/52017d4f3b284-new.jpg)

2.2.1 Materiales:

- Bandejas metálica.
- Horno a presión.
- Balanza semi- analítica.

2.2.2 Procedimiento

- 1- Agregar 50 gramos de asfalto envejecido en el RTFO a la bandeja metálica.
- 2- El horno debe estar precalentado.
- 3- Se quitan los tornillos ya que posee una tapa muy pesada que soporta la presión ejercida. La presión hace que el oxígeno interactúe directamente con toda la muestra, es aquí donde se consigue la oxidación de este material.
- 4- Las bandejas serán ingresadas en una cámara donde se generan presiones sobre la muestra y a su vez se expone la misma a una temperatura elevada. La presión regulada corresponde a 2.1 MPa y la temperatura regulada está en un rango entre 90° y 110° C, durante 20 horas.



Imagen 7. Bandejas utilizadas para el ensayo PAV

Fuente: www.academia.edu/11642055/APROXIMACION_AL_CONOCIMIENTO_SUPERPAVE

- 5- Se abre la llave de pase del oxígeno grado 0, el cual no tiene humedad; para poder efectuar la prueba.
- 6- Antes de abrirlo pasadas las 20 horas, procedemos a verificar que no haya presión en el tanque para abrir los anillos de seguridad y de igual manera los tornillos.
- 7- La muestra es extraída del horno PAV que será evaluada por el reómetro de corte dinámico, donde se miden los cambios que surgen del proceso de envejecimiento puesto en carretera, compactación, el proceso de diseño de mezcla asfáltica, y los 7 años puesto en la carretera.
- 8- Se compararan las diferencias entre este asfalto y el asfalto original, la susceptibilidad térmica del material y predecir si este material es fácil a la fatiga o si será resistente a la fatiga.

Cabe señalar que estas pruebas (RTFO y PAV) no son verdaderas pruebas, solamente son procedimientos por los cuales se expone una muestra de asfalto a las condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de planta de mezclado en caliente y los 7 años de servicio. Posteriormente son analizados por el Reómetro de corte dinámico quien determinará el módulo de deformidad, módulo de fatiga, ángulos de fase.

2.3 Multi Stress Creep and Recovery (M.S.C.R)

En español es “Fluencia de Estrés Múltiples y Recuperación”. Bajo el método de ensayo de ASTM D 7405. Las metodologías para la caracterización de asfaltos para pavimentos, han intentado predecir, mediante diversos parámetros, el desempeño que éste tendrá en campo. El parámetro $G^*/\sin\delta$ es empleado para medir la resistencia de los asfaltos a la deformación permanente.

Esta prueba simula de mejor manera las condiciones de trabajo a las que el asfalto será sometido en el pavimento, haciendo énfasis en la resistencia a la deformación permanente. Simula mejor el mecanismo de falla, siendo ciega a la naturaleza del asfalto, es decir, que un asfalto podrá ser aceptado siempre y cuando cumpla con las exigencias que han sido definidas para fines de garantizar la vida útil del proyecto. (Ibáñez, 2013)

Es muy importante resaltar, que durante el periodo “Recovery”, el reómetro de corte dinámico no realiza otra acción más que la de medir la respuesta del asfalto, por lo que las mediciones en el segmento de recuperación, dependen totalmente de la “memoria elástica” del asfalto.

Al aplicar dos niveles de esfuerzo, 100 y 3200 Pa, se puede evaluar la dependencia de la capacidad elástica del asfalto ante el esfuerzo de corte. La diferencia entre el comportamiento elástico del asfalto a los dos niveles de esfuerzo, junto con la deformación total alcanzada al final de la prueba, dan información sobre la estabilidad y fuerza de la estructura del asfalto.

2.3.1 Materiales:

- Asfalto envejecido en el RTFO
- Equipo reómetro de corte dinámico (DSR)
- Plato de 25 mm

2.3.2 Procedimiento

1. Aplicar un esfuerzo de 100 Pa por 1 segundo
2. Remover el esfuerzo y medir la recuperación en 9 segundos
3. Repetir este procedimiento por 10 ciclos.
4. Aplicar un esfuerzo de 3200 Pa por 1 segundo.
5. Remover el esfuerzo y medir la recuperación en 9 segundos.
6. Repetir este procedimiento por 10 ciclos.

2.4 Reómetro de corte dinámico

La prueba básica DSR (Dynamic Shear Rheometer) (ver imagen 6) utilizó como muestra una lámina delgada colocada entre dos placas circulares. La placa inferior es fija, mientras que la placa superior oscila hacia adelante y hacia atrás, a través de la muestra a 10 rad/s (1.59 Hz para simular el efecto de un vehículo circulando a 80 km/h) para crear una acción de corte.

Alcanza temperaturas desde los 5°C hasta 95°C (el rango puede extenderse dependiendo del fluido circulante).

El ensayo de Reología con DSR es utilizado para evaluar el comportamiento visco-elástico que experimenta el cemento asfáltico a intermedias y altas temperaturas de servicio. El procedimiento de ensayo puede ser consultado en AASHTO T 315-05. En el DSR se miden dos parámetros fundamentales: el módulo complejo de corte (G^*) y el ángulo de fase (δ). La prueba es en gran parte controlada por un software.



Imagen 8. Reómetro de corte dinámico

Fuente: www.youtube.com/watch?v=AuHJFnZ4Lr8

G^* puede ser considerado como la resistencia del cemento asfáltico a deformarse por esfuerzos de corte repetidos, mientras que δ es el desfase entre el esfuerzo cortante aplicado y la deformación de corte resultante durante el ensayo. Entre mayor sea δ , el material es más viscoso.

Un material que experimente un comportamiento totalmente elástico experimenta un $\delta=0^\circ$, mientras que uno puramente viscoso presenta $\delta=90^\circ$. G^* y δ son utilizados para intentar predecir la resistencia al ahuellamiento y al agrietamiento por fatiga.

Con el fin de evitar ahuellamiento en una mezcla asfáltica, el ligante asfáltico debe ser lo suficientemente rígido (bajo corte) y elástico, por lo tanto, la relación $G^*/\sin\delta$ debe ser grande. $G^*/\sin\delta$ debe ser como mínimo 1 kPa y 2.2 kPa para un ligante sin envejecimiento en RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) y con éste respectivamente. Para evitar agrietamiento por fatiga, la mezcla debe ser elástica pero no tan rígida hasta que se fragilice (la rigidez debe ser la suficiente para que la mezcla experimente un comportamiento dúctil); por lo tanto, $G^*\sin\delta$ debe ser mínima. Como máximo se admite $G^*\sin\delta \leq 5000$ kPa (Castro, 2015)

2.4.1 Procedimiento

- 1- Coloque la muestra de asfalto entre dos placas de acero
- 2- Aplicar una tensión de corte oscilante
- 3- Mida la deformación
- 4- Calcular un módulo de materiales.
- 5- $\text{Módulo} = \text{tensión} / \text{deformación}$
- 6- Mida la rigidez del material

En donde las mezclas de asfaltos fueron previamente calentadas y agregadas en un molde en forma circular y enfriada a temperatura ambiente.

Seguidamente, se calibró el equipo y por último las muestras fueron colocadas (comprimidas) entre dos placas paralelas, una fija y otra oscilante. Se removió el exceso de muestra con una espátula especial o cuchilla para que su grosor fuese uniforme. La velocidad de oscilación (frecuencia) fue de 10 radianes por segundo (rad/s), lo que equivale aproximadamente a 1,59 Hz. Esto se llevó a cabo bajo tensión controlada, en la que el reómetro aplicó una fuerza de torsión constante para mantener la placa oscilante. La prueba es en gran parte controlada por el software, el cual arroja los resultados directamente.

Esta prueba caracterizó tanto el comportamiento viscoso como elástico de las muestras. Este ensayo se realizó tres veces a diferentes temperaturas por cada mezcla de asfalto virgen, oxidada y envejecida a 10 años de servicio, aplicándole una condición particular dependiendo de cada tipo de mezcla.

CAPÍTULO III. RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS

3.1 Determinación del límite superior del grado de desempeño del asfalto sin envejecer, mediante el reómetro de corte dinámico.

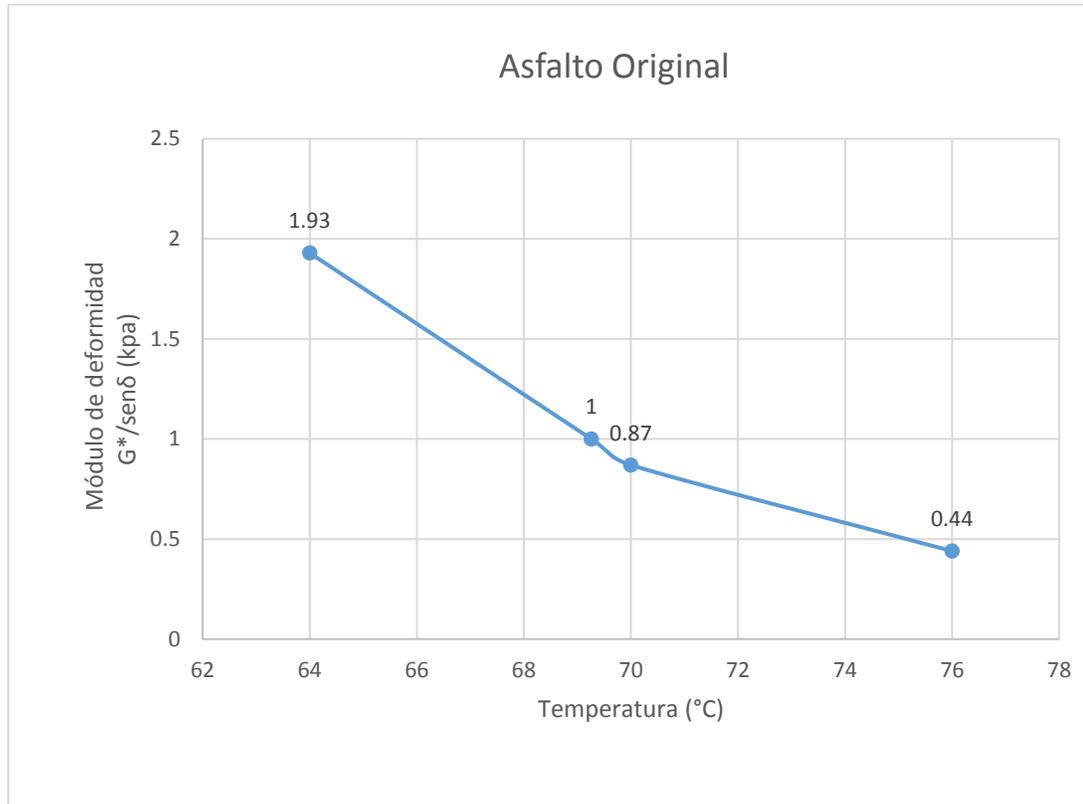
Ensayo	Método de Ensayo		Resultados	Unidades	Límite Superior
	AASHTO	ASTM			
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 64 °C	T 315	D 7175	1,93	kPa	64
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 70 °C			0,87	kPa	
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 76 °C			0,44	kPa	
Ángulo de fase (δ) 64 °C			86,52	°	
Ángulo de fase (δ) 70 °C			87,70	°	
Ángulo de fase (δ) 76 °C			88,55	°	

Tabla 2. Resultados del Asfalto sin envejecer
Fuente: LanammeUCR

Durante la fase experimental se obtuvo que la muestra de asfalto AC-30 original (sin envejecer) cumple con especificaciones PG SUPERPAVE a 64 °C con la condición Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) > 1.0 kPa. Es decir que a temperaturas menores a 64 °C el asfalto presenta propiedades óptimas para su recuperación elástica, siendo 64° C el límite superior que delimita este rango elástico.

Por lo tanto a temperaturas mayores de 64° C, tales como las que se observan en los resultados (70°C y 76° C) el asfalto no cumple con la condición $G^*/\text{sen } \delta > 1.0$ kPa. Puesto que la muestra sufre alteraciones en su composición química presentando un ablandamiento y siendo éste más elástico que viscoso producto de las interacciones entre las moléculas de los componentes saturados y resinas que se encuentran en mayor cantidad dentro de la estructura interna.

De igual forma en la siguiente gráfica (gráfica 1) se aprecia como sufre un descenso en sus propiedades viscoelásticas con respecto al aumento de la temperatura.



Gráfica 1. Módulo de deformidad Vs. Temperatura (Asfalto Original)
Fuente: Elaboración propia

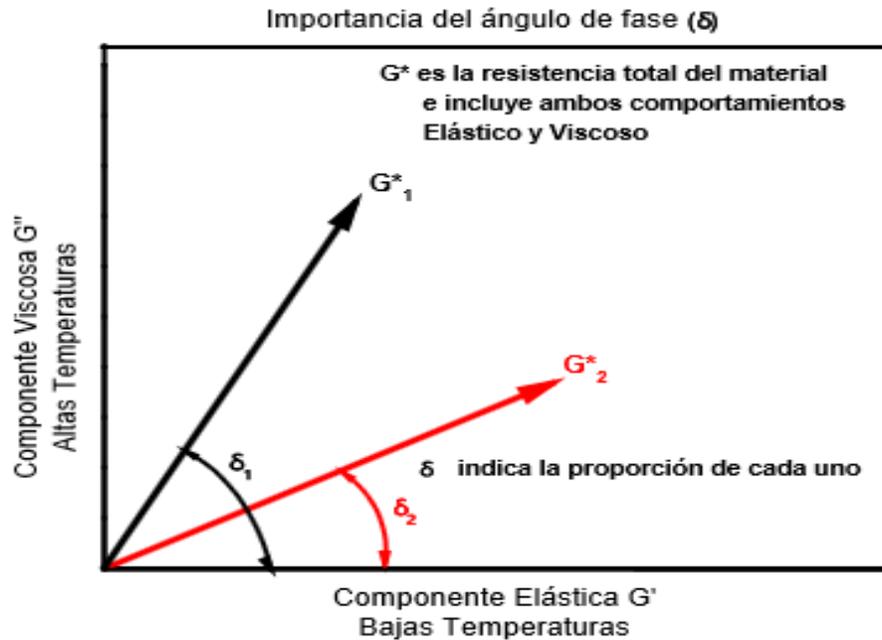


Imagen 9: Componentes del ángulo de fase δ
Fuente: Sandoval (2013)

La grafica mostrada denota la transición del ángulo de fase producto de la variación de la temperatura; dicho ángulo indica que a mayores temperaturas el material tendrá un comportamiento más viscoso por lo que su capacidad de almacenar energía será menor; por lo tanto el modulo complejo (G^*) toma en cuenta ambos parámetros tanto viscoso como elástico.

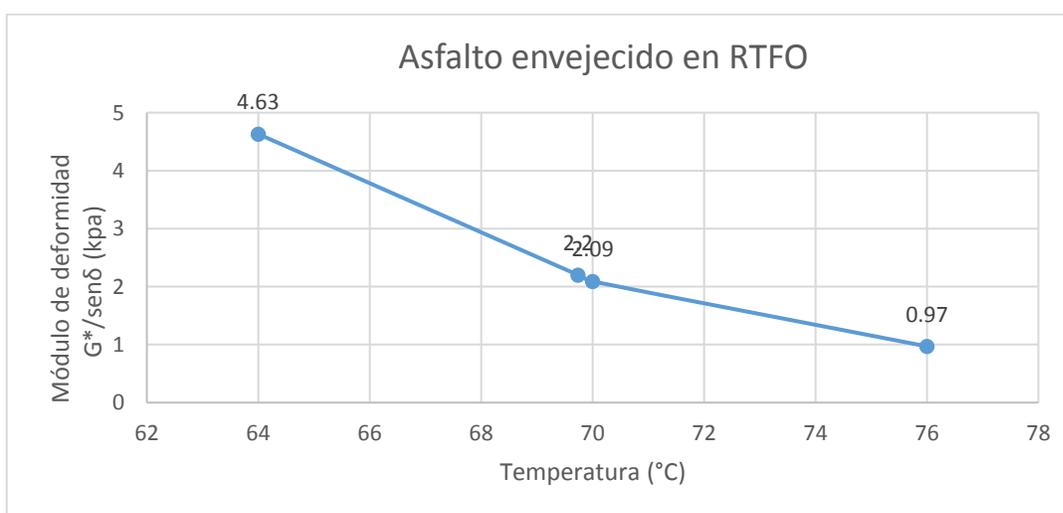
3.2 Determinación del límite superior del grado de desempeño al asfalto envejecido por RTFO, mediante el reómetro de corte dinámico.

Ensayo	Método de Ensayo		Resultados	Unidades	Límite Superior
	AASHTO	ASTM			
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 64 °C	T 315	D 7175	4,63	kPa	64
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 70 °C			2,09	kPa	
Módulo de deformidad ($G^*/\text{sen } \delta$) 76 °C			0,97	kPa	
Ángulo de fase (δ) 64 °C			82,90	°	
Ángulo de fase (δ) 70 °C			84,86	°	
Ángulo de fase (δ) 76 °C			86,45	°	

Tabla 3. Resultados del asfalto envejecido en RTFO.
Fuente: LanammeUCR

Los resultados arrojan que la mezcla envejecida cumple hasta los 64 °C con la condición $G^*/\text{sen } \delta > 2.2$ kPa, de manera que a temperaturas superiores a 64 °C ésta presenta fallas por deformación permanente, lo cual indica que para su uso como pavimento se debe tomar en cuenta la temperatura límite máxima en la que se encuentra el lugar donde se asfaltará ya que el fenómeno ocurre tanto en el proceso en planta como en la obra.

En la gráfica 2 se observa como el módulo de deformidad disminuye con respecto al aumento de las temperaturas ensayadas. Se determinó que a 69.74°C la muestra alcanza su punto de fase entre las condiciones óptimas y la pérdida de su capacidad de recuperación.



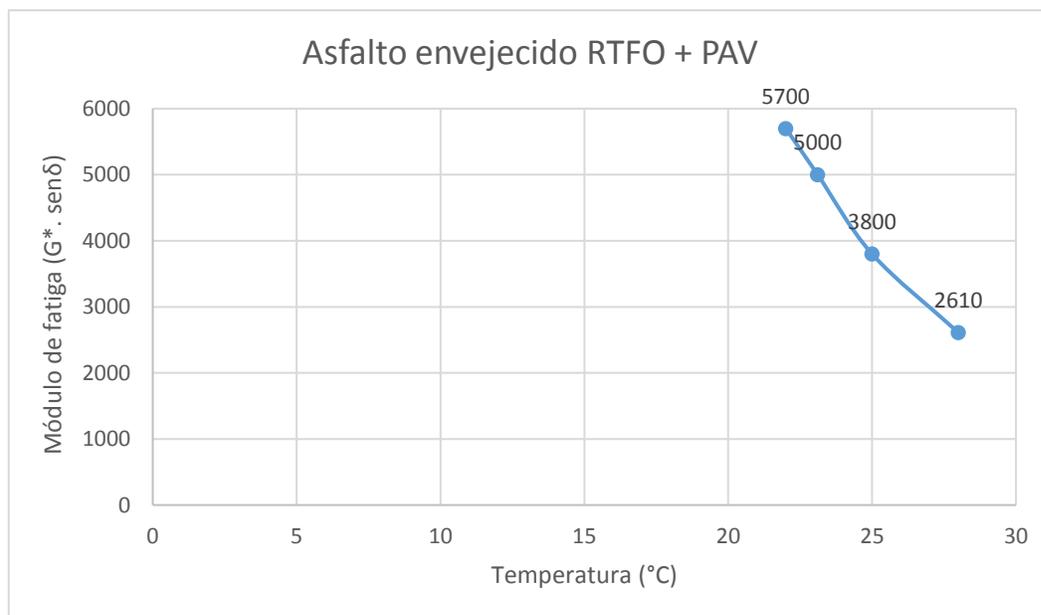
Gráfica 2. Módulo de deformidad Vs. Temperatura (Asfalto Envejecido en RTFO) Fuente: Elaboración propia

3.3 Determinación del límite intermedio del grado de desempeño a la mezcla envejecida RTFO + PAV, mediante el reómetro de corte dinámico.

Ensayo	Método de Ensayo		Resultados	Unidades	Temperatura Intermedia
	AASHTO	ASTM			
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 22 °C	T 315	D 7175	5,70	MPa	25
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 25 °C			3,80	MPa	
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 28 °C			2,61	MPa	
Ángulo de fase (δ) 22 °C			44,75	°	
Ángulo de fase (δ) 25 °C			47,49	°	
Ángulo de fase (δ) 28 °C			50,18	°	

Tabla 4. Resultado del asfalto. Fuente: LanammeUCR

En la mezcla de asfalto envejecida a presión refleja un descenso en el módulo de fatiga donde solo la temperatura alcanzada de 25 °C cumple con la condición $G^* \cdot \text{sen } \delta \leq 5000 \text{ kPa}$ lo cual significa que a temperaturas altas y moderadas, sin exceder los 25 °C esta mezcla de asfalto tendrá condiciones favorables para ser usada. La tendencia a falla por fisuración térmica o fatiga solo será posible a temperaturas por debajo de 25 °C.



Gráfica 3. Módulo de fatiga Vs. Temperatura (en el PAV)
Fuente: Elaboración propia.

Como lo describe la gráfica 3 la temperatura de 28°C también cumpliría con la condición antes mencionada pero en consecuencia de la utilización de esta temperatura se corre el riesgo de que la muestra falle por pérdida de capacidad de carga.

3.4 Resultado de ensayo Multi Stress Creep Recovery (MSCR), mediante el reómetro de corte dinámico

Ítem	Método de Ensayo		Resultados	Unidades
	AASHTO	ASTM		
Promedio de porcentaje de recuperación a 0,1 kPa			6,4	%
Promedio de porcentaje de recuperación a 3,2 kPa			2,3	%
Diferencia entre el promedio de porcentaje de recuperación a 0,1 kPa y a 3,2 kPa.		D 7405	64,6	%
Jnr a 0,1 kPa			1,7	%
Jnr a 3,2 kPa			1,9	%
Diferencia en Jnr entre 0,1 kPa y 3,2 kPa			11,762	%

Tabla 5. Resultados del ensayo MSCR mediante el DSR. Fuente: LanammeUCR

Los resultados de la muestra ante los dos niveles de esfuerzo aplicados de 0.1 y 3.20 kPa, permiten evaluar la capacidad elástica del asfalto ante el esfuerzo de corte. La diferencia entre el comportamiento elástico del asfalto a los dos niveles de esfuerzo, junto con la deformación total alcanzada al final de la prueba, dan información sobre la estabilidad y fuerza de la estructura del asfalto.

Al aplicar una carga de 0.1 kPa se obtuvo una respuesta elástica de 6.4% lo cual denota que el asfalto tiene una buena capacidad de recuperación y por lo tanto su deformación permanente es despreciable.

En cambio al someter la muestra a 3.2 kPa se observa una respuesta elástica de 2.3 % es decir que la capacidad de recuperación disminuye significativamente permitiendo que la deformación permanente sea objeto de consideración, ya que la muestra es vulnerable a los esfuerzo de cortante.

En cuanto a la diferencia de promedios de respuesta elástica se afirma que tiene una susceptibilidad de 64.6 % a la variación de esfuerzo aplicado.

Es importante mencionar que como todo cuerpo sólido sometido a fuerzas externas, el asfalto también posee una recuperación elástica y a su vez sufre una deformación permanente que altera su capacidad de carga y sus variaciones volumétricas, las cuales deben ser consideradas en el diseño de estructura de mezclas asfálticas.

Guiado por el objetivo del ensayo (MSCR) se determinó la deformación permanente ocurrida bajo estos esfuerzos (0.1 y 3.2 kPa) obteniendo así un valor de 1.7 % como resultado de esfuerzo aplicado de 0.1 kPa y valor de 1.9 % a 3.2 kPa esto indica que a mayor esfuerzo aplicado la deformación tendrá un valor más influyente.

3.5 Clasificación de asfalto según el grado de desempeño.

“Jnr” funciona en conjunto con la metodología actual de grado PG. El asfalto se selecciona de acuerdo al clima, tal y como lo designa el procedimiento de Superpave y a éste se le suma la variable del tráfico (número de ejes equivalentes) contemplado en el proyecto, de acuerdo a los siguientes niveles:

Temperatura	Intensidad de tráfico (Ejes Equivalentes)	Grado	“Jnr, 3200”	RE, 3200 (%)
Seleccionada de acuerdo al mapa de regiones geográficas (zonas por clima)		No cumple	>4	
	< 3 millones	Estándar (S)	2 a 4	>0
	>3< 10 millones	Pesado (H)	1 a 2	>25
	>10<30 millones	Muy pesado (V)	0.5 a 1	>30
	>30 millones	Extremo (E)	>0.5	>40

$RE_{3200kPa}$: Respuesta elástica a 3200 Pa

Tabla 5. Clasificación de asfalto a través de J_{nr} .

Fuente: (Navarro, 2013)

Para clasificar nuestra mezcla asfáltica nos basamos en los resultados obtenidos por parte del reómetro de corte dinámico efectuados en las distintas muestras, como lo son el asfalto original y las envejecidas a corto y largo plazo. En donde para la muestra de asfalto original y la envejecida en RTFO, ambas cumplían a 64 °C con sus parámetros correspondientes ($G^*/\text{sen } \delta > 1,0$ kPa y $G^*/\text{sen } \delta > 2,2$ kPa respectivamente) y para el caso de la muestra envejecida en el PAV se tiene que cumple con la condición $G^* \cdot \text{Sen } \delta < 5000$ kPa a temperatura de 25°C.

Por otra parte en el ensayo MSCR se obtuvo una deformación permanente (Jnr) a 3200 Pa de 1,9 % que correspondiente a la tabla 5, se clasifica como **H**.

Obteniendo así la siguiente clasificación:

Grado de desempeño	
PG: 64 (25)- H	
Temperatura Superior (°C)	64
Temperatura Inferior (°C)	25
MSCR	H

Fuente: LanammeUCR, 2016.

CONCLUSION

Finalmente se afirma que se han cumplido con los objetivos planteados inicialmente puesto que presenta un estudio que abarca la reología del cemento asfáltico AC-30.

En cuanto a la realización de los procesos de envejecimiento a corto y largo plazo se logró el acondicionamiento de la muestra para su debido análisis en el reómetro de corte dinámico.

Es importante señalar que para determinar el grado de desempeño del asfalto original se ensayó la muestra mediante el reómetro de corte dinámico a distintas temperaturas tales como 76°C, 70°C, 64°C quedando demostrado que la temperatura límite superior que el asfalto puede soportar es de 64°C sin sufrir alteraciones en su estructura, debido a que cumple con la especificación PG SUPERPAVE en donde señala que $G^*/\text{sen } \delta > 1.0 \text{ kPa}$ dando como resultado 1.93 kPa.

De la misma manera se aplicó el procedimiento para la muestra envejecida por el horno de película delgada rotacional, que generó un módulo de deformidad de 4.63 kPa a 64° C cumpliendo así con la especificación $G^*/\text{sen } \delta > 2.20 \text{ kPa}$.

A su vez a la muestra obtenida del envejecimiento a presión se le realizó el ensayo a temperaturas de 22, 25 y 28° C, obteniendo como resultado una temperatura intermedia igual a 25° C cumpliendo ésta con la especificación $G^* \cdot \text{sen } \delta < 5000 \text{ kPa}$ dando como resultado 3800 kPa. Sin embargo se comprobó que a una temperatura de 28° C también cumple con dicha especificación puesto que resulta un valor de 2610 kPa pero al tomar en consideración este valor se corre el riesgo de que el asfalto exceda su límite elástico y sufra daños permanentes ya que a esta temperatura o mayores se disminuye la consistencia del asfalto.

También se afirma que las pruebas de recuperación elástica resultan de mucha importancia ya que permitió conocer la fluencia no recuperable a 64° C obteniéndose como resultado un valor de 11.762 % lo cual es satisfactorio para el AC-30.

También se determinó que el grado de desempeño de las muestras analizadas permiten clasificar el asfalto como un PG: 64 (25) - H; en donde 64 corresponde a la temperatura límite superior, el 25 se refiere a la temperatura intermedia para las condiciones favorables de trabajo y H corresponde al parámetro de clasificación según el tipo de carga que soportará el asfalto, siendo éste un tránsito pesado.

En suma se demostró que Nicaragua utiliza actualmente un asfalto de buena calidad ya que presenta propiedades reológicas ideales para nuestra condición climática y a su vez se adecua al tránsito que circula en las carreteras de nuestro país.

RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda tomar medidas preventivas ante el crecimiento sustancial del tráfico, ya que vehículos de tipo V (Muy pesado) y E (Extremo) provocan daños permanentes en la carpeta de rodamiento.
- 2- Se recomienda realizar la prueba de Espectro de infrarrojo ya que para lograr un mejor desempeño de mezcla asfáltica se deberá conocer los componentes orgánicos del asfalto.
- 3- Se recomienda tomar en cuenta la temperatura del sitio a asfaltar ya que el cemento asfáltico AC-30 no está capacitado para soportar temperaturas mayores a 64°C sin sufrir deformaciones.
- 4- De igual manera se advierte que a temperaturas menores a 25 ° C este asfalto sufrirá daños por ruptura al aplicar una carga.
- 5- Se recomienda evitar derrames de combustible porque ocasionara una evaporación de los componentes volátiles del asfalto.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Cabeza, F., Hidalgo-Prada, B., Valles, F. (2013) Análisis reológico de las principales fallas que experimenta el asfalto obtenido a partir de mezclas de dos componentes: uno blando tía Juana mediano (TJM-26) y un componente duro lagoteco.
Recuperado por:
www.scielo.org.ve/scielo.php?scrip=sci_arttext&pid=s1315-001622013000300008
- 2- Garnica, P., Delgado, H., Sandoval, C. (2005) Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas.
Recuperado por:
www.imt.mx/archivo...blicaciontecnica/pt272.pdf
- 3- Ordóñez, A. Minaya, S. (2003) Aproximación al conocimiento SUPERPAVE. Recuperado por:
www.academia.edu/11642055/APROXIMACION_AL_CONOCIMIENTO_SUPERPAVE
- 4- Reyes, F (2003) Diseño Racional de Pavimentos
Recuperado por:
www.researchgate.net/publication/275648096_DISENO_RACIONAL_DE_PAVIMENTOS
- 5- Sandoval, I., Cremades, I. (2013). Evolución del grado PG en la caracterización de asfaltos.
Recuperado por: www.ichasfalto.cl
- 6- Tuta, R. (2013) Asfaltos. Recuperado por:
<http://es.slideshare.net/RafaelTutaVera/asfalto-28716640>
- 7- Vargas, X., Reyes, F. (2010) El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. Recuperado por: www.scielo.org.com>pdf>iei

ANEXOS



Foto 1. Reómetro dinámico de corte utilizado para los ensayos.
Fuente: LanammeUCR



Foto 2. Reómetro de corte dinámico utilizado para los ensayos del cemento asfáltico AC-30

Fuente: LanammeUCR



Foto 3. Muestra de asfalto procesada en el PAV.
Fuente: LanammeUCR



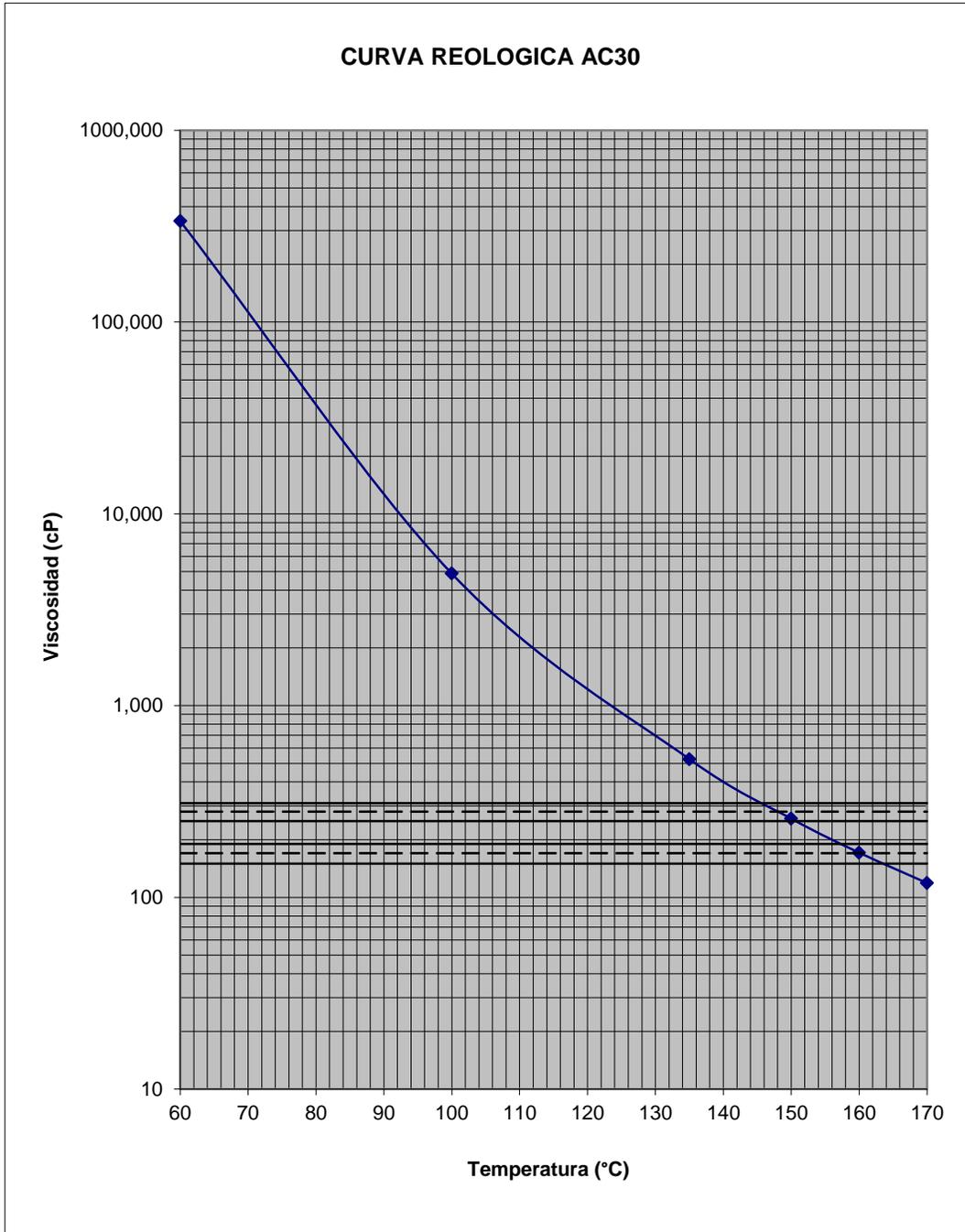
UNO NICARAGUA S.A.

Carretera hacia Refinería, contiguo a Unimar, Managua, Nicaragua

MUESTRA: 16092701

TEMPERATURA DE COMPACTACION: 146 - 150
156 - 161

FECHA: 27-sep-16



FO-BTCC-01/ REV 0



**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**



No. de informe: I-1438-16

Informe de Ensayo

RC-80 v.06 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST-1391-16

1. Información del cliente

Nombre: Unidad de Materiales y Pavimentos
Ing. José Pablo Aguiar
Teléfono: 2511-2529
Correo electrónico: jose.aguiar@ucr.ac.cr

Proyecto: Análisis de asfalto de diferentes fuentes para el proyecto de oxidación

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca. 400 m al norte del Centro Comercial Muñoz & Nanne, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR). Universidad de Costa Rica, Finca 2.

2. Método de ensayo:

IT-LA-12 (AASHTO T 240 / ASTM D2872) (*). Efecto de calentamiento y ventilación en asfaltos RTFO.

IT-LA-23 (AASHTO T 315) (*). Determinación de las propiedades reológicas de ligantes asfálticos mediante el DSR.

IT-LA-25 (AASHTO R 28 / ASTM D 6521). Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos mediante el dispositivo de envejecimiento presurizado (PAV).

(ASTM D 7405) (**). Recuperación y fluencia del asfalto a esfuerzos repetidos mediante reómetro de corte dinámico (MSCR)

(**) Espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier

(*) Ensayo acreditado. Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayo no acreditado.

Dirección: 500 metros al Norte del Supermercado Muñoz y Nanne. Finca 2, Universidad de Costa Rica

Apartado: 11501-2060 San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica.

Teléfono: 2511-2500 **Fax:** 2511-4440 **Email:** direccion.lanamme@ucr.ac.cr

www.lanamme.ucr.ac.cr



No. de informe: I-1438-16

3. Información de las muestras o especímenes de ensayo:

<u>No. de identificación:</u>	<u>Descripción:</u>
M-2549-16	1 galón con asfalto AC-30 Procedencia: Nicaragua.
<u>Aportadas por:</u>	Ernesto Villegas
<u>Fecha de recepción :</u>	2016/11/25
<u>Responsable:</u>	Ing. José Pablo Aguiar
<u>Fecha de realización del ensayo:</u>	2016/11/01 a 2016/11/07

4. Información del muestreo

No indicado por el cliente

5. Resultados:

**Tabla N° 1. Determinación del límite superior del grado de desempeño
(Asfalto sin envejecer)
Muestra: M-2549-16**

Ensayo	Método de ensayo		Resultados	Unidades	Límite Superior
	AASHTO	ASTM			
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 64 °C	T 315	D 7175	1,93	kPa	64
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 70 °C			0,87	kPa	
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 76 °C			0,44	kPa	
Angulo de fase (δ) 64 °C			86,52	°	
Angulo de fase (δ) 70 °C			87,70	°	
Angulo de fase (δ) 76 °C			88,55	°	

**Tabla N° 2. Determinación del límite superior del grado de desempeño
(Envejecido RTFO)
Muestra: M-2549-16**

Ensayo	Método de ensayo		Resultados	Unidades	Límite Superior
	AASHTO	ASTM			
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 64 °C	T 315	D 7175	4,63	kPa	64
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 70 °C			2,09	kPa	
Módulo de deformabilidad (G^* / $\text{sen } \delta$) 76 °C			0,97	kPa	
Angulo de fase (δ) 64 °C			82,90	°	
Angulo de fase (δ) 70 °C			84,86	°	
Angulo de fase (δ) 76 °C			86,45	°	

No. de informe: I-1438-16

**Tabla N° 3. Determinación del límite intermedio del grado de desempeño
(Envejecido RTFO+PAV)
Muestra: M-2549-16**

Ensayo	Método de ensayo		Resultados	Unidades	Temperatura Intermedia
	AASHTO	ASTM			
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 22 °C	T 315	D 7175	5,70	MPa	25
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 25 °C			3,80	MPa	
Módulo de fatiga ($G^* \cdot \text{sen } \delta$) 28 °C			2,61	MPa	
Angulo de fase (δ) 22 °C			44,75	°	
Angulo de fase (δ) 25 °C			47,49	°	
Angulo de fase (δ) 28 °C			50,18	°	

**Tabla N° 4: Resultados de ensayo Multi Stress Creep Recovery (MSCR)
Muestra: M-2549-16**

Ítem	Método de ensayo		Resultados	Unidades
	AASHTO	ASTM		
Promedio de porcentaje de recuperación a 0,1 kPa		D 7405	6,4	%
Promedio de porcentaje de recuperación a 3,2 kPa			2,3	%
Diferencia entre el promedio de porcentaje de recuperación a 0,1 kPa y 3,2 kPa			64,6	%
Jnr a 0,1 kPa			1,7	%
Jnr a 3,2 kPa			1,9	%
Diferencia en Jnr entre 0,1 kPa y 3,2 kPa			10,9	%

**Tabla N° 5. Resumen de resultados del ensayo de Recuperación elástica a diferentes esfuerzos (MSCR) al ligante asfáltico modificado
Muestra: M-2549-16**

Ensayo	Método de ensayo		$J_{NR@3,2kPa}$	$\frac{(J_{NR@3,2kPa} - J_{NR@0,1kPa}) * 100}{J_{NR@0,1kPa}}$
	AASHTO	ASTM		
Fluencia no recuperable a 64 °C		D 7405	1,90	11,762 ¹

¹Se obtiene aplicando la ecuación con los resultados del promedio aritmético de Jnr @0,1 kPa y Jnr @3,2 kPa

**Tabla N° 6: Clasificación de asfalto según grado de desempeño
Muestra: M-2549-16**

Grado de desempeño	
PG: 64 (25)-H	
Temperatura Superior (°C)	64
Temperatura Intermedia (°C)	252
MSCR	H

No. de informe: I-1438-16



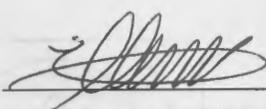
Figura 1. M-2549-16 Espectro de infrarrojo del asfalto AC-30

En el espectro de infrarrojo mostrado en la Figura 1 se observan las bandas típicas del asfalto, correspondientes a compuestos orgánicos (bandas alrededor de 2900; 1600; 1500 y 700 cm⁻¹). Adicionalmente, el asfalto no muestra señales de oxidación, lo cual se concluye por la ausencia de la banda de carbonilo a 1700 cm⁻¹.

Aclaraciones:

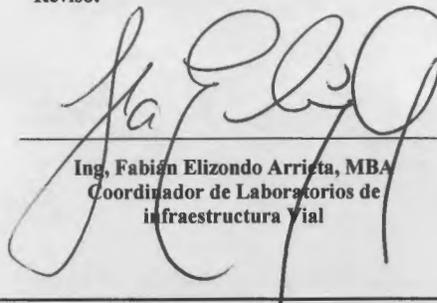
- Este informe sustituye completamente al I-1086-16, pues la muestra enviada inicialmente fue insuficiente. Se envía más para completar los ensayos solicitados
- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original,
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR

Preparó:



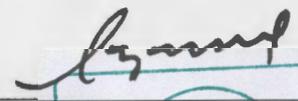
Ing, Ellen Rodríguez Castro
Jefe de Laboratorio de Ligantes
Asfálticos

Revisó:



Ing, Fabián Elizondo Arrieta, MBA
Coordinador de Laboratorios de
infraestructura Vial

Aprobó:



Ing, Alejandro Navas C, MSc
Director LanammeUCR,