



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE NORMAS SUPERPAVE PARA LIGANTES  
ASFÁLTICOS”**

Memoria de titulación presentada por:  
**Claudia Ignacia Bulnes Zambrano**

Como requisito para optar al título de:  
**Constructor Civil**

Profesor guía:  
**Carlos Wahr Daniel**

**VALPARAÍSO, CHILE**

**NOVIEMBRE 2017**

---

# **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE NORMAS SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFÁLTICOS”**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El Diseño Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements).se ha comenzado a implementar en nuestro país siendo la Conservación Rutinaria del Aeropuerto Arturo Merino Benitez, Año 2016, Etapa I; el primer proyecto realizado. En cuanto a la normativa existente en M.C. (Manual de Carreteras) para ligantes asfálticos de esta metodología, la última actualización se realizó en Diciembre del 2003.Por las razones recién mencionadas se crea la necesidad de analizar la normativa, tanto la Chilena como extranjera. El estudio consiste en analizar 5 normativas de la metodología Superpave para ligantes asfálticos y compararlas entre sus equivalentes pertenecientes al Manual de Carreteras, ASTM y AASHTO. Las normas mencionadas corresponden a:

- Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico. Manual de Carreteras 8.302.22(Diciembre 2003) ,AASHTO T315-12, ASTM D7175-15.
- Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV). Manual de Carreteras 8.302.23(Marzo 2012), AASHTO R28-12, ASTM D6521-13.
- Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional de Brookfield. Manual de Carreteras 8.302.24(Diciembre 2003), AASHTO T316-13, ASTM D4402M-15.
- Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión Manual de Carreteras 8.302.25(Diciembre 2003), AASHTO T313-12, ASTM D6648-08.
- Método de ensaye de película delgada rotatoria Manual de Carreteras 8.302.33(Diciembre 2003), AASHTO T249-13, ASTM D2872-12.

El análisis se realizará mediante un cuadro comparativo, en orden a identificar las principales diferencias de las normas mencionadas anteriormente. Se establece si existe implicancia de cada ítem en la obtención de los resultados de los ensayos, incluyendo aquellos puntos que no son considerados por todas las normas, para finalmente realizar la elección de una normativa por cada ítem.

Los criterios para la elección serán, privilegiar aquellos estudios e información realizada específicamente para el área de vialidad y pavimentación, fecha de actualización de las normas, clima de la zona en que se realizó la investigación y finalmente aquel que posea mayor información relevante para cada punto.

El objetivo principal de esta memoria se centra en comparar la normativa Superpave del M.C., AASHTO y ASTM de los ligantes para proponer una actualización de las 5 normas mencionadas del Manual de carreteras.

El M.C. se encuentra desactualizado en cuanto a complementos y rigurosidad de la norma, sin embargo, la descripción de los procedimientos de cada ensayo solo presenta variaciones significativas para el HPDR. En general, las normativas AASHTO son más completas, específicas para el área vial y contemplan la calibración y verificación de los equipos principalmente en el caso del acondicionamiento del ligante PAV y HPDR.

---

## ABSTRACT

Superpave's performance has been started to use in CHILE, the "Conservación Rutinaria del Aeropuerto Arturo Merino Benitez, Año 2016, Etapa I" is the first project executed. In regard to Chileans standards for asphalt binder of this methodologic, M.C. (Manual de Carreteras), the last actualization has been done in December 2003. For those reasons just mentioned becomes the necessity to an analysis of the Chileans and foreign standards.

The purpose of this study is to analyze 5 Superpave's performance standards for asphalt binder and compare them among their equivalent belonging to Manual de Carreteras, ASTM y AASHTO.

The standard mentioned correspond to:

- Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). Manual de Carreteras 8.302.22 (Diciembre 2003), AASHTO T315-12, ASTM D7175-15.
- Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV). Manual de Carreteras 8.302.23 (Marzo 2012), AASHTO R28-12, ASTM D6521-13.
- Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer (RV). Manual de Carreteras 8.302.24 (Diciembre 2003), AASHTO T316-13, ASTM D4402M-15.
- Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR). Manual de Carreteras 8.302.25 (Diciembre 2003), AASHTO T313-12, ASTM D6648-08.
- Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). Manual de Carreteras 8.302.33 (Diciembre 2003), AASHTO T249-13, ASTM D2872-12.

The analysis is carried out by a comparative table, in order to identify the principal differences between the standard mentioned. For each item is established if it has an implication on the results, including those points that are not considered by all standards. To finally select a standards for each item.

The election criteria are, privileging those studies and information carried out specifically for road and paving's area, actualization standard's date, research zone weather's, and finally the one with the most relevant information for the item.

The main objective of this study is focused on comparing Superpave standards of M.C., AASHTO and ASTM about asphalt binder to propose an update of the 5 M.C.'s standards mentioned.

M.C. is outdated in terms of complements and rigor of the standard, however, the description of the procedures of each trial only present significant variations for RTFOT. Generally, AASHTO standards are more complete, specific to the road area and include the calibration and verification of equipment mainly in the case of the asphalt binder condition inside the PAV and HPDR.

---

## GLOSARIO

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>A</b>                 | : Área original de la sección transversal.  |
| <b>AASHTO</b>            | : American Association of State Highway and Transportation Officials.                             |
| <b>AMRL</b>              | : AASHTO Materials Reference Laboratory.  |
| <b>ASTM</b>              | : American Society for Testing Materials.   |
| <b>BBR</b>               | : Bending Beam Rheometer (Reómetro de Viga en Flexión).   |
| <b>CGS</b>               | : Sistema Cegesimal de Unidades.  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>    | : Dióxido de Carbono.   |
| <b>DSR</b>               | : Dynamic Shear Rheometer *(Reómetro de Corte Dinámico).  |
| <b>cm</b>                | : Centímetro.   |
| <b>cc</b>                | : Centímetro Cúbico.  |
| <b>DSR</b>               | : Dynamic Shear Rheometer (Reómetro de Corte Dinámico).   |
| <b>DTT</b>               | : Direct Tension Test (Ensayo de Tracción Directa).   |
| <b>D(t)</b>              | : Deformación en fluencia por flexión.  |
| <b>EEUU</b>              | : Estados Unidos.   |
| <b>ESAL's</b>            | : Equivalent Single Axles Loads (Ejes Simples Equivalentes Cargados).                             |
| <b>Ft</b>                | : Pie.  |
| <b>GPa</b>               | : Giga pascal.  |
| <b>G*</b>                | : Módulo Complejo de Corte.   |
| <b>G'</b>                | : Módulo de Almacenamiento.   |
| <b>G''</b>               | : Módulo de Pérdida.  |
| <b>gr/cm<sup>3</sup></b> | : Gramo por Centímetro Cúbico.  |
| <b>gr</b>                | : Gramo.  |
| <b>HPDR</b>              | : Horno de Película Delgada Rotatorio (RTFO).   |
| <b>InHg</b>              | : Pulgada de mercurio.  |
| <b>Kg/m<sup>3</sup></b>  | : Kilogramos por Metro Cúbico.  |
| <b>kPa</b>               | : Kilopascal.   |
| <b>LEMCO</b>             | : Laboratorio de Ensayo de Materiales y Control de Obras.   |
| <b>L<sub>e</sub></b>     | : Largo efectivo.   |
| <b>LVDT</b>              | : Transductor diferencial variable lineal.  |
| <b>MAC</b>               | : Mezcla Asfáltica en Caliente.   |
| <b>M.C.</b>              | : Manual de Carreteras.   |
| <b>MPa</b>               | : Megapascal.   |
| <b>mm</b>                | : Milímetros.   |
| <b>MmHg</b>              | : Milímetro de mercurio.  |
| <b>mN·m</b>              | : Millinewton-metro.  |
| <b>mg/m<sup>3</sup></b>  | : Miligramo por metro cúbico.   |
| <b>NIST</b>              | : National Institute of Standards and Technology (Instituto nacional de Estándares y Tecnología). |
| <b>Nm</b>                | : Newton metro.   |

---

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Máx.</b>                       | : Máximo.  |
| <b>min</b>                        | : Minutos.   |
| <b>Mín.</b>                       | : Mínimo.  |
| <b>miliradianes/N·m</b>           | : Unidad de deformación.   |
| <b>nPa<sup>-1</sup></b>           | : Unidad de deformabilidad en flexión.                                     |
| <b>PAV</b>                        | : Pressure Aging Vessel (Envejecimiento en Cámara de Presión).             |
| <b>Pa</b>                         | : Pascal.  |
| <b>Pa·s</b>                       | : Pascal segundo.  |
| <b><math>P_f</math></b>           | : Carga de falla [N].  |
| <b>Ppm</b>                        | : Partículas por millón.   |
| <b>Psi</b>                        | : Pounds-force per square inch (Libra-Fuerza por pulgada cuadrada).        |
| <b>PRT</b>                        | : Platinum Resistance Thermometer (Termómetro con resistencia de platino). |
| <b>RDT</b>                        | : Sensor de Resistencia Térmica.   |
| <b>Rpm</b>                        | : Revoluciones por minuto.   |
| <b>RTFO</b>                       | : Rolling Thin-Film Over Test.   |
| <b>RV</b>                         | : Viscosímetro Rotacional.   |
| <b>SGC</b>                        | : Superpave Gyrotory Compactor (Compactador giratorio Superpave).          |
| <b>SHRP</b>                       | : Strategic Highway Research Program.                                      |
| <b>SUPERPAVE</b>                  | : Superior Performing Asphalt Pavements.                                   |
| <b>S(t)</b>                       | : Módulo de Rigidez (Creep Stiffness).                                     |
| <b>T</b>                          | : Temperatura.   |
| <b>Va</b>                         | : Contenido de vacíos de aire.   |
| <b>VAM</b>                        | : Vacíos en el agregado mineral.   |
| <b>VFA</b>                        | : Vacíos llenos de asfalto.  |
| <b><math>\Delta</math></b>        | : Ángulo de fase.  |
| <b><math>\delta_f</math></b>      | : Elongación de falla.   |
| <b><math>\tau_{máx.}</math></b>   | : Tensión de corte máximo.   |
| <b>°C</b>                         | : Grados Celsius.  |
| <b>°K</b>                         | : Grados Kelvin.   |
| <b>E</b>                          | : Deformación.   |
| <b><math>\epsilon_f</math></b>    | : Deformación de falla.  |
| <b><math>\sigma</math></b>        | : Tensión máxima de flexión en la viga.                                    |
| <b><math>\sigma_f</math></b>      | : Tensión de falla.  |
| <b><math>\mu\text{rad}</math></b> | : Microradián.   |

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE NORMAS SUPERPAVE PARA LIGANTES  
ASFÁLTICOS”  
CONTENIDO**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUCCIÓN.....  | 12 |
| 1.1   | ANTECEDENTES GENERALES .....   | 12 |
| 1.2   | OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....  | 13 |
| 1.3   | ALCANCES DEL ESTUDIO.....  | 13 |
| 1.4   | METODOLOGÍA DE TRABAJO.....  | 14 |
| 1.4.1 | Marco teórico conceptual .....   | 14 |
| 1.4.2 | Análisis comparativo y propuestas de actualización.....                            | 14 |
| 1.5   | ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....  | 14 |
| 2     | GENERALIDADES DEL LIGANTE ASFÁLTICO .....  | 16 |
| 2.1   | DEFINICIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO.....   | 16 |
| 2.2   | CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO.....   | 16 |
| 2.2.1 | Propiedades físicas del asfalto .....  | 17 |
| 2.2.2 | Comportamiento reológico .....   | 18 |
| 2.3   | FUNCIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO EN UNA MEZCLA .....                                  | 18 |
| 2.4   | DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS .....                                      | 19 |
| 2.4.1 | Agrietamiento térmico .....  | 19 |
| 2.4.2 | Ahuellamiento.....   | 20 |
| 2.4.3 | Agrietamiento por fatiga .....   | 20 |
| 3     | MÉTODO SUPERPAVE.....  | 21 |
| 3.1   | Ligante asfáltico .....  | 21 |
| 3.2   | Agregado Mineral .....   | 23 |
| 3.3   | Mezcla asfáltica.....  | 24 |
| 3.4   | Metodología SUPEPAVE.....  | 24 |
| 3.4.1 | Primer Nivel .....   | 25 |
| 3.4.2 | Nivel Intermedio .....   | 25 |
| 3.4.3 | Nivel Avanzado .....   | 25 |
| 4     | ENSAYOS SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFÁLTICOS .....                                   | 26 |
| 4.1   | Horno de Película Delgada Rotatorio (HPDR) .....                                   | 26 |
| 4.2   | Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV).....     | 28 |
| 4.3   | Medición de propiedades reológicas mediante Reómetro de Corte Dinámico (DSR) ..... | 30 |

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.3.1 | Aparatos.....   | 30 |
| 4.3.2 | Terminología .....  | 30 |
| 4.3.3 | Probeta .....   | 32 |
| 4.3.4 | Geometría de los platos .....   | 32 |
| 4.3.5 | Resumen del ensayo .....  | 33 |
| 4.4   | Viscosímetro rotacional Brookfield.....   | 34 |
| 4.4.1 | Equipo, aparatos y materiales .....   | 34 |
| 4.4.2 | Resumen del ensayo .....  | 35 |
| 4.5   | Medición de la Rigidez en Fluencia por Flexión a Bajas Temperaturas Mediante Reómetro de Viga a Flexión ..... | 35 |
| 4.5.1 | Equipo .....  | 35 |
| 4.5.2 | Terminología .....  | 36 |
| 4.5.3 | Probeta .....   | 38 |
| 4.5.4 | Resumen del ensayo .....  | 38 |
| 4.6   | Ensayo de Tracción Directa (DTT) .....  | 39 |
| 4.6.1 | Aparatos y equipo .....   | 40 |
| 4.6.2 | Probeta .....   | 40 |
| 4.6.3 | Descripción del ensayo .....  | 41 |
| 5     | NORMATIVA PARA MÉTODO SUPERPAVE .....   | 43 |
| 5.1   | IMPORTANCIA DE LA NORMATIVA .....   | 43 |
| 5.2   | NORMATIVAS .....  | 43 |
| 5.2.1 | Manual de carreteras .....  | 43 |
| 5.2.2 | American Society for Testing and Materials (ASTM) .....   | 44 |
| 5.2.3 | American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ...                               | 45 |
| 5.3   | MODIFICACIÓN DE LAS NORMAS DEL MÉTODO SUPERPAVE PARA LIGANTES .....   | 46 |
| 5.3.1 | ASTM .....  | 46 |
| 5.3.2 | AASHTO .....  | 47 |
| 5.3.3 | Manual de Carreteras .....  | 48 |
| 6     | ANÁLISIS COMPARATIVO .....  | 50 |
| 6.1   | MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA .....  | 50 |
| 6.1.1 | Alcances y campo de aplicación .....  | 50 |
| 6.1.2 | Resumen .....   | 50 |
| 6.1.3 | Relevancia y uso .....  | 50 |
| 6.1.4 | Aparatos.....   | 50 |

---

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.1.5  | Preparación del Horno .....   | 51 |
| 6.1.6  | Procedimiento de Ensayo .....   | 51 |
| 6.1.7  | Informe .....   | 52 |
| 6.1.8  | Precisión .....   | 52 |
| 6.1.9  | Anexo .....   | 52 |
| 6.2    | MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV) .....       | 52 |
| 6.2.1  | Alcance y aplicación .....  | 52 |
| 6.2.2  | Terminología .....  | 52 |
| 6.2.3  | Resumen del método .....  | 52 |
| 6.2.4  | Materiales y equipos .....  | 53 |
| 6.2.5  | Calibración y estandarización .....   | 53 |
| 6.2.6  | Procedimiento .....   | 53 |
| 6.2.7  | Informe .....   | 53 |
| 6.2.8  | Precisión .....   | 54 |
| 6.3    | MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR) ..... | 54 |
| 6.3.1  | Alcance y aplicación .....  | 54 |
| 6.3.2  | Terminología .....  | 54 |
| 6.3.3  | Resumen del método .....  | 54 |
| 6.3.4  | Interferencias .....  | 54 |
| 6.3.5  | Aparatos .....  | 54 |
| 6.3.6  | Materiales .....  | 55 |
| 6.3.7  | Preparación de los aparatos .....   | 55 |
| 6.3.8  | Verificación y calibración .....  | 55 |
| 6.3.9  | Preparación muestras de ensayo .....  | 55 |
| 6.3.10 | Preparación probetas de ensayo .....  | 56 |
| 6.3.11 | Procedimiento .....   | 56 |
| 6.3.12 | Interpretación de los resultados .....  | 57 |
| 6.3.13 | Precisión y Sesgo .....   | 57 |
| 6.3.14 | Anexos .....  | 57 |
| 6.4    | MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD .....            | 57 |
| 6.4.1  | Alcance y campo de aplicación .....   | 57 |

---

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.4.2  | Terminología .....  | 57 |
| 6.4.3  | Resumen del método.....   | 57 |
| 6.4.4  | Aparatos y materiales .....   | 57 |
| 6.4.5  | Calibración y estandarización .....   | 58 |
| 6.4.6  | Preparación del aparato .....   | 58 |
| 6.4.7  | Preparación de las muestras .....   | 58 |
| 6.4.8  | Procedimiento de ensayo.....  | 58 |
| 6.4.9  | Resultados e informe.....   | 58 |
| 6.4.10 | Precisión y Sesgo .....   | 58 |
| 6.5    | MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN ..... | 59 |
| 6.5.1  | Alcance y campo de aplicación .....   | 59 |
| 6.5.2  | Terminología .....  | 59 |
| 6.5.3  | Resumen del método.....   | 59 |
| 6.5.4  | Significado y uso .....   | 59 |
| 6.5.5  | Interferencias.....   | 59 |
| 6.5.6  | Aparatos.....   | 59 |
| 6.5.7  | Materiales.....   | 60 |
| 6.5.8  | Peligros.....   | 60 |
| 6.5.9  | Preparación de los aparatos .....   | 60 |
| 6.5.10 | Estandarización.....  | 60 |
| 6.5.11 | Preparación de las probetas de ensayo.....  | 60 |
| 6.5.12 | Procedimiento.....  | 61 |
| 6.5.13 | Precisión y sesgo.....  | 61 |
| 6.5.14 | Presentación de la información .....  | 61 |
| 6.5.15 | Información obligatoria.....  | 61 |
| 7      | ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN DE NORMAS MEDIANTE CRITERIOS.....   | 62 |
| 7.1    | PRESENTACIÓN DE LOS DATOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS .....  | 62 |
| 7.1.1  | Horno de película delgada rotatoria .....   | 62 |
| 7.1.2  | Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión .....   | 64 |
| 7.1.3  | Medición de propiedades reológicas mediante reómetro de corte dinámico .....  | 65 |
| 7.1.4  | Viscosímetro rotacional brookfield .....  | 66 |
| 7.1.5  | Medición de la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión .....                 | 68 |

---

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8   | PROPUESTAS DE ACTUALIZACIÓN MANUAL DE CARRETERAS .....  | 70 |
| 8.1 | Método de ensaye de película delgada rotatoria (hpdr).....  | 70 |
| 8.2 | Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (pav).....                                  | 71 |
| 8.3 | Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico (dsr).....                            | 74 |
| 8.4 | Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional brookfield (rv) .....                                 | 87 |
| 8.5 | Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión (bbr) ..... | 88 |
| 9   | CONCLUSIÓN.....   | 97 |
| 10  | REFERENCIA .....  | 98 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>ANEXO A:</b> | Cuadro comparativo método de ensaye de película delgada rotatoria .....  | 101 |
| <b>ANEXO B:</b> | Cuadro comparativo método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión.....  | 112 |
| <b>ANEXO C:</b> | Cuadro comparativo método Superpave de medición de las propiedades reológicas mediante reómetro de corte dinámico .....                                  | 121 |
| <b>ANEXO D:</b> | Cuadro comparativo método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional brookfield.....   | 150 |
| <b>ANEXO E:</b> | Cuadro comparativo método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión.....          | 158 |
| <b>ANEXO F:</b> | Ejemplo de reporte dsr .....   | 177 |
| <b>ANEXO G:</b> | Corrección para la lectura del manómetro de acuerdo a la altura.....   | 179 |
| <b>ANEXO H:</b> | Propuesta de actualización método de ensaye de película delgada rotatoria .....  | 181 |
| <b>ANEXO I:</b> | Propuesta de actualización método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión.....                                  | 195 |
| <b>ANEXO J:</b> | Propuesta de actualización método Superpave de medición de las propiedades reológicas mediante reómetro de corte dinámico .....                          | 209 |
| <b>ANEXO K:</b> | Propuesta de actualización método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional brookfield.....                                 | 243 |
| <b>ANEXO L:</b> | Propuesta de actualización método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión ..... | 250 |

---

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

|  |    |
|--|----|
| Diagrama 2.1 Composición del asfalto. .... | 16 |
|--|----|

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 Deformación unitaria en función del tiempo para ligantes asfálticos. [28] .....  | 18 |
| Figura 2.2 Agrietamiento térmico en pavimento flexible. [27] .....  | 19 |
| Figura 2.3 Ahuellamiento en pavimentos flexibles. [27].....   | 20 |
| Figura 2.4 Pavimento flexible que presenta agrietamiento por fatiga [27]. .....   | 20 |
| Figura 3.1 Zonificación Superpave de Chile, 98 % de confiabilidad. [8].....   | 23 |
| Figura 4.1 Equipos empleados para determinarlas propiedades del asfalto. [26].....  | 26 |
| Figura 4.2 Horno de película delgada rotatorio [6].....   | 27 |
| Figura 4.3 Esquema de la configuración típica de un sistema de ensaye de envejecimiento acelerado en cámara de presión PAV [1]. ..... | 28 |
| Figura 4.4 Cámara a Presión [10].....   | 29 |
| Figura 4.5. Ángulo de fase para materiales viscoelásticos [10]. .....   | 31 |
| Figura 4.6 Aplicación directa del ligante a los platos de ensayo. [17] .....  | 32 |
| Figura 4.7 Plato superior (Lado izquierdo) y Plato inferior (Lado derecho).....   | 32 |
| Figura 4.8 Mecanismo de aplicación de la carga del DSR. [10].....   | 33 |
| Figura 4.9 Elementos del viscosímetro rotacional. [10].....   | 34 |
| Figura 4.10 Viscosímetro rotacional.....  | 34 |
| Figura 4.11 Esquema del Reómetro de viga a flexión. [5].....  | 36 |
| Figura 4.12 Probeta sobre los soportes y dentro del baño líquido.....   | 36 |
| Figura 4.13. Curva para determinar el valor-m. ....   | 38 |
| Figura 4.14 Molde y probeta de BBR. Elaboración propia.....   | 38 |
| Figura 4.15 Dimensiones de la Probeta para el Ensayo de Tracción Directa.....   | 40 |
| Figura 4.16. Deformación de falla DTT. [28].....  | 42 |
| Figura 8.1 Dimensión de los platos [17].....  | 75 |
| Figura 8.2 Efectos del error en la distancia inicial [17]. .....  | 78 |
| Figura 8.3 Ejemplo de barrido de la tensión [17].....   | 86 |
| Figura 8.4 Patrón de aplicación de la carga [22].....   | 96 |

---

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 1</b> Módulo de corte ( $G^*$ ).....         | 30 |
| <b>Ecuación 2</b> Parámetro deformación permanente.....  | 31 |
| <b>Ecuación 3</b> Parámetro de control de la fatiga..... | 32 |
| <b>Ecuación 4</b> Módulo de Rigidez.....                 | 37 |
| <b>Ecuación 5</b> Máxima deformación de la viga.....     | 37 |
| <b>Ecuación 6</b> Tensión de falla.....                  | 41 |
| <b>Ecuación 7</b> Deformación de falla.....              | 42 |
| <b>Ecuación 8</b> Porcentaje de variación [17].....      | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 3.1</b> Grados de desempeño SUPERPAVE para ligante Asfáltico. [7].....   | 22 |
| <b>Tabla 3.2</b> Niveles de diseño y análisis de mezcla del método SUPERPAVE.....   | 24 |
| <b>Tabla 7.1</b> Igualdad entre las normas HPDR y elección entre ellas.....   | 63 |
| <b>Tabla 7.2</b> Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para el acondicionamiento en PAV. ....                               | 64 |
| <b>Tabla 7.3</b> Igualdad entre las normas PAV y elección entre ellas.....  | 64 |
| <b>Tabla 7.4</b> Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para la medición para la medición de las propiedades reológicas..... | 65 |
| <b>Tabla 7.5</b> Igualdad entre las normas DSR y elección entre ellas.....  | 65 |
| <b>Tabla 7.6</b> Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para el viscosímetro rotacional Brookfield.....                      | 66 |
| <b>Tabla 7.7</b> Igualdad entre las normas RV y elección entre ellas.....   | 67 |
| <b>Tabla 7.8</b> Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para la medición de la rigidez en fluencia.....                      | 68 |
| <b>Tabla 7.9</b> Igualdad entre las normas BBR y elección entre ellas.....  | 68 |
| <b>Tabla 8.1</b> TABLA 8.302.22.D de Precisiones estimadas [17].....  | 85 |
| <b>Tabla 8.2</b> Precisiones estimadas [19].....  | 88 |
| <b>Tabla 8.3</b> Precisión estimada (M.C. Tabla 8.302.25.A) [21].....   | 95 |

---

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES GENERALES

El tránsito vehicular ha crecido significativamente en el mundo durante las últimas décadas, generando un aumento del deterioro de los pavimentos existentes. Como solución a esta problemática en EE.UU en el año 1993 por medio del programa de investigación SHRP (*Strategic Highway Research Program*) se obtiene una nueva metodología de diseño, Superpave (*SUperior PERformance Asphalt PAVement*), la cual permite obtener mezclas asfálticas más duraderas.

Superpave, el diseño de la mezcla se basa en el desempeño del ligante asfáltico de acuerdo a condiciones de carga y temperatura correspondientes a la zona en que se instalará el pavimento, considerando temperaturas extremas e intermedias a las que el ligante asfáltico tiene un desempeño favorable en la puesta en marcha del pavimento considerando las velocidades de tránsito.

Como ocurre con todas las metodologías, para ser aplicadas requieren de procedimientos establecidos, protocolos, fiscalización, etc. que permitan obtener, en este caso, pavimentos con estándares de calidad esperados. A partir de estas necesidades se crean las diversas normativas.

Hoy en día existen varias entidades que han desarrollado normativas Superpave, considerando las más importantes en el aspecto internacional a AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) y ASTM (*American Society for Testing Materials*).

En Chile el M.C. (Manual de Carreteras) es el encargado del desarrollo de las normativas de pavimentación. El volumen 8 corresponde a especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control, por lo tanto, es aquí donde se encuentran las normas para ensayos Superpave, basados en la normativa AASHTO correspondiente.

Su primera publicación fue realizada en Diciembre del 2003 y sólo han sido actualizados dos métodos, 8.302.23 Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligante asfáltico en cámara a presión. [1] y 8.302.56 Método para determinar el contenido de asfalto a ignición. [2], realizados en Marzo del 2012 y Diciembre del 2011 respectivamente.

Este diseño Superpave se ha comenzado a implementar en nuestro país siendo la Conservación Rutinaria del Aeropuerto Arturo Merino Benitez, Año 2016, Etapa I; el primer proyecto realizado. Por las razones recién mencionadas se crea la necesidad de analizar la normativa, tanto la chilena como la extranjera.

La presente memoria de título consiste en realizar un análisis comparativo de 5 normativas de la metodología Superpave para ligantes asfálticos y compararlas entre sus equivalentes pertenecientes al Manual de Carreteras, ASTM y AASHTO. Los métodos de los ensayos a desarrollar son:

- Método de ensaye de película delgada rotatoria (HPDR),
- Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV),
- Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico (DSR),

- 
- Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield (RV),
  - Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión (BBR).

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal de esta memoria se centra en comparar la normativa Superpave del M.C, AASHTO y ASTM para los métodos de ensayo de ligantes asfálticos y generar propuesta de actualización para las normas:

- 8.302.33 Método de ensayo de película delgada rotatoria (HPDR),
- 8.302.23 Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV),
- 8.302.22 Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico (DSR),
- 8.302.24 Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield (RV),
- 8.302.25 Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión (BBR).

## 1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

Para desarrollar el análisis comparativo de cada método se utiliza las versiones correspondientes al Manual de Carreteras, Volumen 8, Edición 2016 y versiones AASHTO y ASTM vigentes. Por lo tanto, se consideran las siguientes normas:

- Método Superpave de medición de propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico
  - Manual de Carreteras 8.302.22 (Diciembre 2003),
  - AASHTO T315-12,
  - ASTM D7175-15.
- Método Superpave de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV)
  - Manual de Carreteras 8.302.23 (Marzo 2012),
  - AASHTO R28-12,
  - ASTM D6521-13.
- Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional de Brookfield
  - Manual de Carreteras 8.302.24 (Diciembre 2003),
  - AASHTO T316-13,
  - ASTM D4402M-15.
- Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión
  - Manual de Carreteras 8.302.25 (Diciembre 2003),
  - AASHTO T313-12,
  - ASTM D6648-08.
- Método de ensayo de película delgada rotatoria
  - Manual de Carreteras 8.302.33 (Diciembre 2003),
  - AASHTO T249-13,
  - ASTM D2872-12.

---

Las propuestas de actualización se rigen a la normativa Chilena para métodos de ensayo Superpave, es decir, Normas del M.C. correspondientes a 8.302.22 [3], 8.302.23 [1], 8.302.24 [4], 8.302.25 [5] y 8.302.33 [6].

## **1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El presente estudio posee un enfoque teórico, desarrollado en tres etapas:

### **1.4.1 Marco teórico conceptual**

Revisión bibliográfica de la metodología Superpave, específicamente de ligantes asfálticos y métodos de ensayos para determinar las propiedades físicas de estos y su efecto en el diseño del pavimento.

Lectura de normas AASHTO, ASTM y Manual de Carreteras de métodos de ensayos Superpave para ligantes asfálticos.

### **1.4.2 Análisis comparativo y propuestas de actualización**

El análisis se realizará mediante un cuadro comparativo, en orden a identificar las principales diferencias de las normas mencionadas anteriormente (véase 1.3). Se establecerá la importancia de cada variación en la obtención de los resultados de los ensayos, se especificarán los ítems que no son considerados por todas las normas y se realizará la elección de una norma para cada ítem.

Los criterios para la elección serán, privilegiar aquellos estudios e información realizada específicamente para el área de vialidad y pavimentación, fecha de actualización de las normas y finalmente aquel que posea mayor información relevante para cada punto.

Del cuadro comparativo y en base a los criterios recién mencionados se extraerán los puntos más relevantes y se formulará la propuesta de actualización para cada una de las normas estudiadas.

## **1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA**

La presente memoria de título se compone de siete capítulos que describen el desarrollo del análisis comparativo para las normas de ensayos Superpave de ligantes asfálticos los cuales son descritos a continuación:

Capítulo 1: Presentación de los antecedentes generales del estudio y una breve reseña de los puntos abarcados.

Capítulo 2: En este capítulo se expone a grandes rasgos, las propiedades físicas, características y funciones del ligante asfáltico para finalizar con la explicación de las fallas de los pavimentos relacionadas al ligante

Capítulo 3: Consiste en una breve introducción y descripción de la metodología superpave.

Capítulo 4: Descripción de cada uno de los métodos de ensayo para ligantes Superpave correspondientes a las normativas que son estudiadas.

Capítulo 5: Estudio de la historia e importancia de las normativas, y el desarrollo que han obtenido durante el tiempo.

---

Capítulo 6: Presentación del análisis comparativo desarrollado, desarrollado para cada normativa subdivido en ítems de la norma.

Capítulo 7: Análisis de la elección de normas mediante criterios, explicación numérica de las elecciones realizadas.

Capítulo 8: Propuestas para actualización de cada una de las normas del M.C.

Capítulo 9: Conclusión.

Capítulo 10: Referencias.

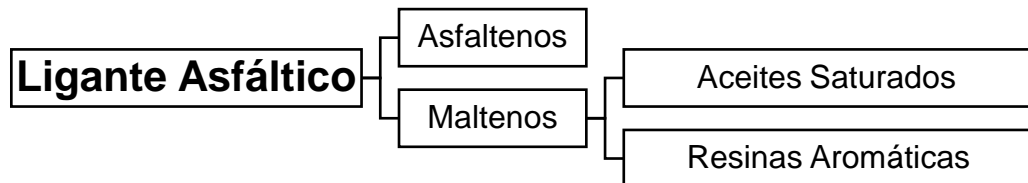
---

## 2 GENERALIDADES DEL LIGANTE ASFÁLTICO

### 2.1 DEFINICIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO

Sustancia aglomerante de color café-negro y consistencia variable, constituida principalmente por hidrocarburos pesados (betún) acompañados de minerales. Es extraído de depósitos naturales o por medio de la refinación del petróleo.

El ligante asfáltico cuando es disuelto por un solvente como el heptano puede separarse en dos componentes como se muestra en el Diagrama 2.1:



**Diagrama 2.1** Composición del asfalto.

Fuente: Elaboración propia.

Los asfaltenos son insolubles y representan los compuestos más pesados por tanto con mayor punto de ebullición y son los responsables del color negro, elasticidad y rigidez a distintas temperaturas y dureza del ligante.

Los maltenos son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición, líquido viscoso, compuesto por resinas encargadas de brindar la adherencia y aceites que actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas permitiendo la trabajabilidad del ligante asfáltico.

Un mayor contenido de maltenos permite obtener un ligante de mejor calidad, es por ello que generalmente la proporción de éstos es superior en ligantes asfálticos utilizados en pavimentación, es decir, que los maltenos son los encargados de regular gran parte de las propiedades del ligante asfáltico.

Las dos características más importantes de los ligantes asfálticos para la pavimentación corresponden al carácter aglomerante y la permeabilidad.

El carácter aglomerante consiste en la cohesión de los agregados permitiendo resistir las cargas producidas por los vehículos. Por otra parte la impermeabilización del árido garantiza un pavimento eficaz contra la penetración del agua proveniente tanto por las precipitaciones pluviales como la del subsuelo por capilaridad.

Los ligantes asfálticos se pueden separar en dos grandes grupos, los tradicionales, que corresponden a los comentados anteriormente y los modificados. Estos corresponden a un asfalto tradicional, al cual se le incorpora algún aditivo, generalmente polímeros para mejorar la resistencia a deformaciones.

### 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO

Las propiedades del asfalto dependen de las proporciones en que están presentes sus componentes. Por lo tanto para lograr un diseño con gran desempeño es importante conocer el comportamiento del ligante, para ello se presentan las principales propiedades de los ligantes asfálticos.

---

## **2.2.1 Propiedades físicas del asfalto**

### **2.2.1.1 Durabilidad**

Capacidad del asfalto de mantener sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

### **2.2.1.2 Adhesión y cohesión**

Es la fuerza aglomerante del ligante asfáltico con el agregado; ayuda a aumentar la resistencia al corte de la mezcla, varía con la temperatura y aumenta con la cantidad de asfalto hasta un máximo, para luego decrecer.

### **2.2.1.3 Susceptibilidad a la temperatura**

La susceptibilidad térmica se define como el cambio de la consistencia, medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura. En el caso del asfalto viene a ser la variación de sus propiedades al ser sometido a determinadas temperatura.

Esta propiedad es una de las propiedades más valiosas del asfalto la cual varía dependiendo del origen aun si poseen el mismo grado de consistencia. La relevancia de esta propiedad se debe a que al aumentar la temperatura se hace más blando permitiendo alcanzar una fluidez adecuada para cubrir las partículas de los agregados durante el mezclado y permitir su desplazamiento al momento de compactar. Por otra parte se vuelve lo suficientemente viscoso a temperaturas ambientales normales permitiendo la cohesión del árido.

### **2.2.1.4 Envejecimiento**

Efecto producido por la incorporación de oxígeno que se ve afectado con el paso del tiempo y aumento de temperatura, también conocido como oxidación. Produce un aumento de la viscosidad y rigidización.

Este proceso se puede retrasar disminuyendo el porcentaje de vacío junto con una capa espesor superior cubriendo las partículas del agregado de la mezcla.

Se distinguen dos fases de envejecimiento,

#### **2.2.1.4.1 Envejecimiento primario**

Corresponde al envejecimiento a corto plazo, es decir, durante el proceso de mezclado, almacenamiento y colocación de la mezcla asfáltica. Producidos principalmente por el aumento de la temperatura y pérdida de volátiles.

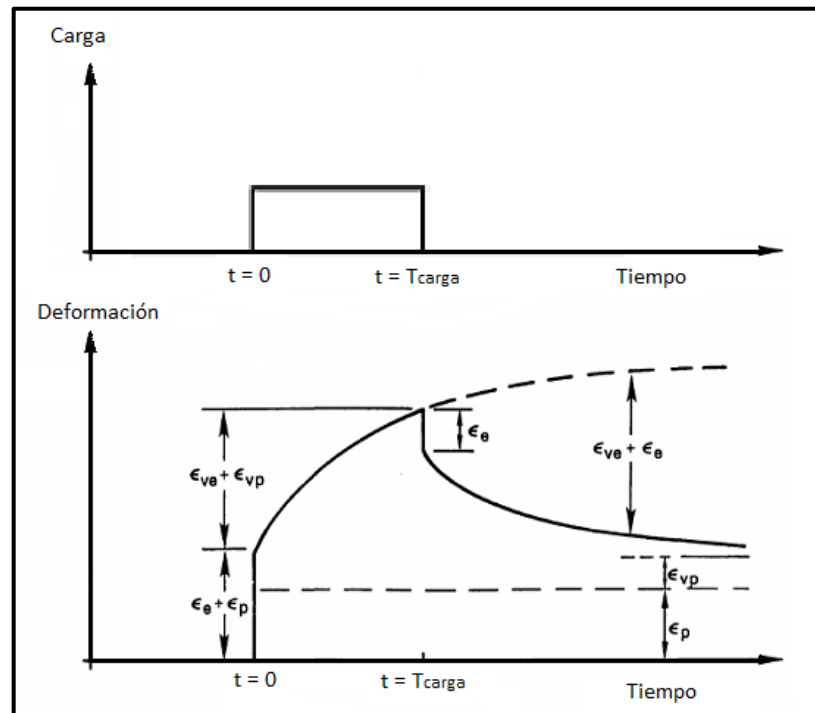
#### **2.2.1.4.2 Envejecimiento secundario**

Corresponde a la oxidación del asfalto durante la vida en servicio del pavimento. Depende principalmente de las proporciones volumétricas y permeabilidad de la mezcla junto a las propiedades de los agregados.

## 2.2.2 Comportamiento reológico

El comportamiento reológico se refiere a la variación de las propiedades del flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante, la viscosidad.

Este estudio de la viscosidad del ligante es útil para todas las aplicaciones del asfalto debido a la necesidad de modificarla mediante la variación de la temperatura para realizar la mezcla en planta, posterior colocación y compactación.



**Figura 2.1** Deformación unitaria en función del tiempo para ligantes asfálticos. [28]

El asfalto posee un comportamiento viscoelástico, en donde la temperatura tiene alta influencia, esto quiere decir que se comporta tanto como un material elástico como plástico lo cual se resume en que al aplicar una carga se deforma y al retirarla una parte se recupera y la otra es irreversible. (véase Figura 2.1)

## 2.3 FUNCIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO EN UNA MEZCLA

Las mezclas asfálticas deben ser capaces de soportar la acción directa de los vehículos y transmitirla en forma de cargas a las capas inferiores, proporcionando condiciones adecuadas de rodadura, confortabilidad, seguridad, comodidad y durabilidad.

El comportamiento de la mezcla está ligado a diversos factores, tanto propios como externos. El tiempo de aplicación de la carga y la temperatura son variables dependientes de la exposición al medio. Es por esta razón que el estudio de la reología del material debe vincularse a estos dos factores.

Las funciones más relevantes del ligante asfáltico corresponden a la adherencia y cohesión del agregado que brindan capacidad estructural. A su vez regular la

---

estabilidad y durabilidad por medio del espesor de la película de asfalto que recubre el agregado.

La componente elástica (Asfaltenos) del ligante asfáltico contribuye a aumentar el comportamiento elástico de la mezcla, de igual forma, el ligante influye decisivamente en la componente viscosa (Maltenos) y su mayor presencia dentro de la mezcla hace que aumente esta componente.

Los ligantes asfálticos con un alto grado de susceptibilidad térmica no son deseables, ya que su viscosidad a 135 [°C] muy baja puede ocasionar inconvenientes durante el proceso de mezclado y compactación. Por otro lado, a bajas temperaturas de servicio su viscosidad puede resultar muy alta y ser causante de agrietamiento térmico.

## **2.4 DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Las fallas más frecuentes de los pavimentos flexibles están vinculadas a la aplicación reiterada de cargas y a la temperatura, generando fisuración de la carpeta asfáltica y acumulación de deformaciones permanentes a lo largo de la estructura. Como se ha mencionado (véase 2.3), estos factores poseen vinculación directa con el comportamiento del ligante por ende con el deterioro de los pavimentos.

Existen tres fallas en los pavimentos vinculadas al ligante asfáltico que serán explicadas a continuación:

### **2.4.1 Agrietamiento térmico**

El agrietamiento térmico se produce por una variación brusca de temperatura (Principalmente en zonas climáticas frías), donde se generan esfuerzos en la capa asfáltica provocando grietas que atraviesan el pavimento (véase Figura 2.2).

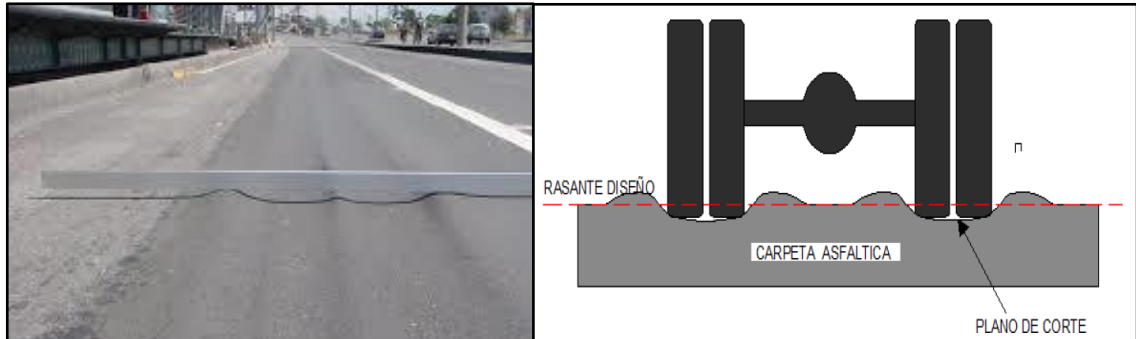
Este tipo de fenómeno, suele ocurrir al utilizar ligantes asfálticos muy duros, los cuales son propensos a la contracción de la carpeta asfáltica, efecto que se maximiza a bajas temperaturas y en mezclas con alto índice de vacío que a su vez facilitan la oxidación del ligante y rigidización de la mezcla.



*Figura 2.2 Agrietamiento térmico en pavimento flexible. [27]*

## 2.4.2 Ahuellamiento

Es una deformación permanente y visible producida por las repeticiones de cargas, generada por el paso de las ruedas de los vehículos, baja velocidad o la poca resistencia que posea la mezcla ante los esfuerzos cortantes inducidos al pavimento (Ver **Figura 2.3**).



**Figura 2.3** Ahuellamiento en pavimentos flexibles. [27]

## 2.4.3 Agrietamiento por fatiga

Las grietas por fatiga son causadas por múltiples factores simultáneos, tales como: cargas pesadas repetidas, alta deflexión del pavimento, pobre drenaje, temperaturas intermedias y mezclas asfálticas muy rígidas.

Este tipo de falla ocurre en etapas tardías de la vida en servicio del pavimento, dado que al envejecer el asfalto se hace más rígido, siendo más susceptible a este tipo de deterioro.



**Figura 2.4** Pavimento flexible que presenta agrietamiento por fatiga [27].

De forma adicional, este tipo de deterioro (véase Figura 2.4) es influenciado por deficiencias en el método de diseño empleado y a su vez, por métodos y procedimientos inadecuados de construcción y mantención.

Es importante mencionar que los deterioros son inevitables, pero sí es posible tomar medidas preventivas para retrasar y minimizar su severidad, aumentando la vida útil del pavimento.

---

### 3 MÉTODO SUPERPAVE

Superpave, método creado por SHRP (*Strategic Highway Research Program*) que en español se define como el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, desarrollado entre 1987 y 1993 en Estados Unidos.

Este método de diseño para mezclas asfálticas en caliente (MAC) que recién se incorpora en las construcciones en Chile incluye nuevas especificaciones para el asfalto y agregado, basadas en el desempeño de la mezcla en servicio, clima y temperaturas del pavimento.

En él se estudian las propiedades del ligante asfáltico, del agregado y de la mezcla.

#### 3.1 LIGANTE ASFÁLTICO

La relevancia de la especificación de la metodología Superpave, es la confianza sobre los ensayos del ligante asfáltico en condiciones de simular las tres etapas críticas durante la vida del asfalto. Los ensayos realizados al asfalto original, representan la primera etapa: transporte, almacenamiento y manejo. La segunda etapa representa el asfalto durante su producción, mezcla y construcción. Y por último, la tercera etapa de envejecimiento a “largo plazo” ocurre en el ligante asfáltico después de varios años de servicio.

La clasificación del ligante asfáltico por Grado de Desempeño (PG) está diseñada para cumplir principalmente dos objetivos:

1. Medir las propiedades físicas de los ligantes asfálticos que pueden ser relacionadas con los parámetros de desempeño en terreno para tres fallas críticas: ahuellamiento, agrietamiento por fatiga y agrietamiento térmico.

Los dispositivos utilizados para medir las propiedades de los ligantes asfálticos son los siguientes:

- Reómetro de corte dinámico (DSR: *Dynamic Shear Rheometer*),
  - Reómetro de viga a flexión (BBR: *Bending Beam Rheometer*),
  - Viscosímetro rotacional (RV: *Rotational Viscometer*),
  - Ensayo de tracción directa (DTT: *Direct Tension Test*).
2. Caracterizar las propiedades físicas de los ligantes asfálticos según las temperaturas y efectos del envejecimiento a los que estarán sometidos durante el proceso de construcción y su vida útil.

Para cumplir esos objetivos se utilizan 2 equipos para envejecer el ligante:

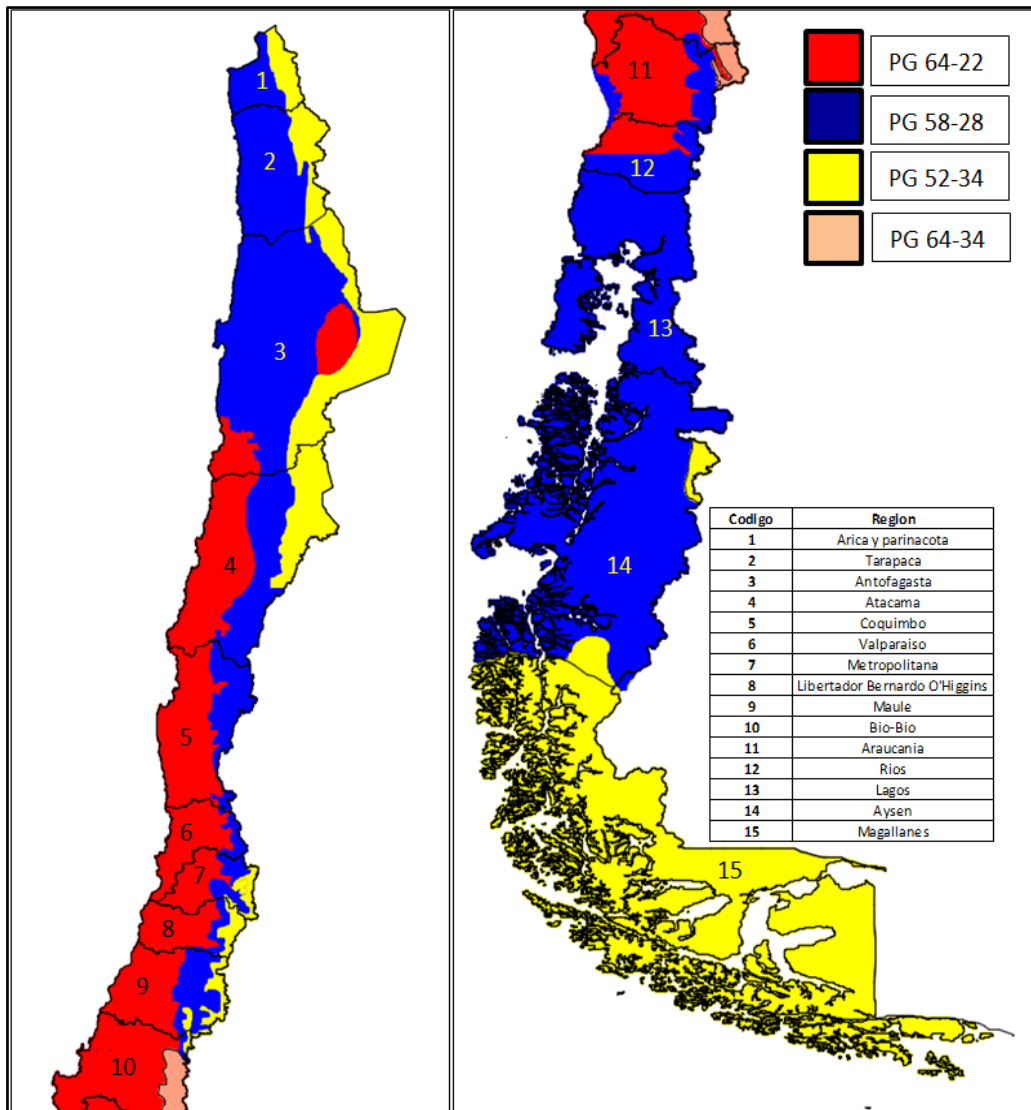
- Horno de película delgada rotatorio (HPDR), simula envejecimiento a corto plazo.
- Cámara a Presión (PAV), simula envejecimiento a largo plazo.

Con la información recopilada por los ensayos mencionados anteriormente finalmente, se puede realizar la clasificación del ligante asfáltico por Grado de Desempeño (PG: *Performance Grade*), la nueva nomenclatura ha quedado determinada como PG XX-YY. Donde XX corresponde a la temperatura máxima e YY a la mínima en la que el ligante cumple con las propiedades físicas adecuadas. En la Tabla 3.1 se presentan los grados de desempeño existentes.

**Tabla 3.1** Grados de desempeño Superpave para ligante Asfáltico. [7]

| ALTA TEMPERATURA | BAJA TEMPERATURA          |
|------------------|---------------------------|
| PG 46-           | 34, 40, 46                |
| PG 52-           | 10,16, 22, 28, 34, 40, 46 |
| PG 58-           | 16, 22, 28, 34, 40        |
| PG 64-           | 10,16, 22, 28, 34, 40     |
| PG 70-           | 10,16, 22, 28, 34, 40     |
| PG 76-           | 10,16, 22, 28, 34         |
| PG 82-           | 10,16, 22, 28, 34         |

De acuerdo al estudio “Zonificación Superpave para Chile” [8], los grados adecuados son PG 64-22, PG 58 -28, PG 52-34 Y PG 64-34 como se muestra en la Figura 3.1. También es importante mencionar que la sección del PG debe considerar las características propias del proyecto como la velocidad de carga y/o el volumen de tránsito pesado lo que puede conllevar a subir uno o dos grados PG.



**Figura 3.1** Zonificación Superpave para Chile. [8]

---

## 3.2 AGREGADO MINERAL

Superpave considera que las propiedades de los agregados cumplen un rol clave en el desempeño de una MAC, es por ello que se consideran las propiedades de consenso y propiedades de origen del agregado.

Las propiedades de consenso son aquellas que permiten alcanzar un elevado desempeño de la MAC. Estas propiedades representan la angularidad del agregado grueso y fino, partículas alargadas y chatas, y contenido de arcilla las cuales deben cumplir en varias escalas dependiendo del tránsito y de la posición que utilicen dentro de la estructura del pavimento.

Propiedades de origen corresponden a la tenacidad, durabilidad y materiales deletéreos. Utilizadas para calificar las fuentes locales de los agregados, se ha establecido su importancia pero no valores críticos ya que ellas son específicas de la fuente de origen.

Los ensayos utilizados corresponden a:

- Ensayo de Abrasión los Angeles,
- Ensayo de durabilidad por acción del sulfato de sodio o magnesio,
- Ensayo de determinación de terrones de arcilla y el de partículas friables.

Para determinar la granulometría se emplea el enfoque de la granulometría Marshall. Utilizando el exponente 0,45 en la carta de granulometría para definir la permitida (gráfica de Fuller), mediante una técnica gráfica única para juzgar la distribución de tamaños acumulados de partículas de una mezcla de los agregados. Las ordenadas de la carta son los porcentajes que pasan; las abscisas, en escala aritmética, representan las aberturas de los tamices en [mm], elevadas a la potencia 0,45.

Un rango importante de esta carta es la granulometría de máxima densidad; corresponde a una línea recta extendida desde la abscisa de tamaño máximo del agregado y ordenada 100%, hasta el origen (0%, 0 [mm]).

La granulometría de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas de agregado se acomodan entre sí, conformando el arreglo volumétrico más compacto posible. Evidentemente, esta granulometría debe ser evitada debido a que no permite formar una película de asfalto de espesor adecuado en el agregado.

Para especificar la granulometría del agregado, se emplean dos conceptos adicionales: puntos de control y una zona restringida. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica y corresponden al tamaño máximo nominal, un tamaño intermedio (2,36 [mm]) y un tamaño de finos (0,075 [mm]).

Por su parte, la zona restringida se ubica entre los tamaños intermedios (4,75 o 2,36 [mm]) y 0,3 [mm]. Forma una banda por la cual la curva granulométrica no deberá pasar. Granulometrías que pasan a través de la zona de restricción (desde abajo), se llaman "*humped graduations*". En la mayoría de los casos, estas curvas indican una mezcla con mucha arena fina en relación al total de la arena. Las granulometrías que violan la zona restringida poseen un esqueleto granular débil que depende demasiado de la rigidez del cemento asfáltico para alcanzar una mezcla con resistencia al corte.

Un diseño de la estructura del agregado que pase entre los puntos de control y evite la zona de restricción, satisface los requerimientos granulométricos de Superpave.

### 3.3 MEZCLA ASFÁLTICA

Los aspectos importantes para la mezcla en el diseño Superpave son la compactación y desempeño.

La compactación en laboratorio se realiza mediante el compactador giratorio Superpave (SGC: *Superpave Gyrotory Compactor*)

El desempeño de la MAC es influenciado inmediatamente por el mezclado y compactación de la mezcla, es por ello que un protocolo de envejecimiento se ha considerado en el método Superpave, la mezcla antes de ser compactada debe ser envejecida en un HPDR, a 135 [°C] durante 4 horas.

Los ensayos basados en el desempeño y los modelos de predicción del desempeño de la MAC permiten estimar la vida de servicio en términos de ejes equivalentes (ESALs) o del periodo para alcanzar un determinado nivel de deterioro.

El método utiliza dos ensayos, Ensayo de corte Superpave (SST) y Ensayo de Tracción Indirecta (IDT), los datos obtenidos por estos ensayos son utilizados como valores de entradas en los modelos de predicción del desempeño.

Con SST se realizan 6 ensayos sobre las probetas de MAC a varias temperaturas simulando las reales del pavimento, los cuales se nombran a continuación:

- Ensayo volumétrico,
- Ensayo de deformación específica uniaxial,
- Ensayo de corte simple a altura constante,
- Ensayo de corte repetido a tensión constante,
- Ensayo de barrido de frecuencias a altura constante,
- Ensayo de corte repetido a altura constante (opcional).

### 3.4 METODOLOGÍA SUPEPAVE

Finalmente la metodología Superpave se compone de tres niveles

**Tabla 3.2** Niveles de diseño y análisis de mezcla del método Superpave.

| Tránsito (ESAL's)                        | Nivel de Diseño | Requerimientos de Ensayo <sup>1</sup>                                   |
|--|-----------------|---|
| ESAL < 10 <sup>6</sup>                   | 1               | Diseño Volumétrico  |
| 10 <sup>6</sup> < ESAL ≤ 10 <sup>7</sup> | 2               | Diseño Volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento           |
| 10 <sup>7</sup> < ESAL                   | 3               | Diseño Volumétrico y pruebas de predicción del comportamiento adicional |

<sup>1</sup> En todos los casos, la susceptibilidad a la humedad debe ser evaluada usando la norma AASHTO T283.

---

### 3.4.1 Primer Nivel

Este nivel requiere el diseño volumétrico, el cual involucra los siguientes aspectos:

- Selección de los materiales (Agregados y ligante asfáltico),
- Selección de la Estructura de agregado de diseño,
- Selección del contenido de ligante asfáltico de diseño,
- Evaluación de la susceptibilidad a la humedad de la mezcla diseñada.

Esta actividad se basa en la estimación de las propiedades volumétricas de la mezcla: contenido de vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos llenos de asfalto (VFA). [9]

### 3.4.2 Nivel Intermedio

Este nivel utiliza como punto inicial el análisis volumétrico del nivel anterior. Los ensayos establecidos para este nivel son:

- Ensayo de Corte (SST),
- Ensayo de Tensión Indirecta (IDT).

De esta forma, es posible generar una serie de predicciones del comportamiento de la mezcla. [9]

### 3.4.3 Nivel Avanzado

Incluye la totalidad de los pasos realizados anteriormente, pero se realizan pruebas adicionales IDT y SST, a una amplia gama de temperaturas. Un completo análisis de la mezcla utiliza especímenes confinados SST y ofrece un mayor y más confiable nivel de predicción del comportamiento de ésta. [9]

## 4 ENSAYOS SUPERPAVE PARA LIGANTES ASFÁLTICOS

Los ensayos Superpave para ligantes asfálticos juegan un rol importante para llevar a cabo el diseño de la mezcla. Como se ha mencionado en el punto 3.1 tanto las propiedades como el envejecimiento del ligante son obtenidas mediante un conjunto de equipos.

Estos ensayos permiten ser asociados a las fallas que se producen en el pavimento debido a las propiedades. En la Figura 4.1 se ilustra la relación entre los ensayos y deterioros, junto al tipo de envejecimiento que se debe realizar antes del ensayo.

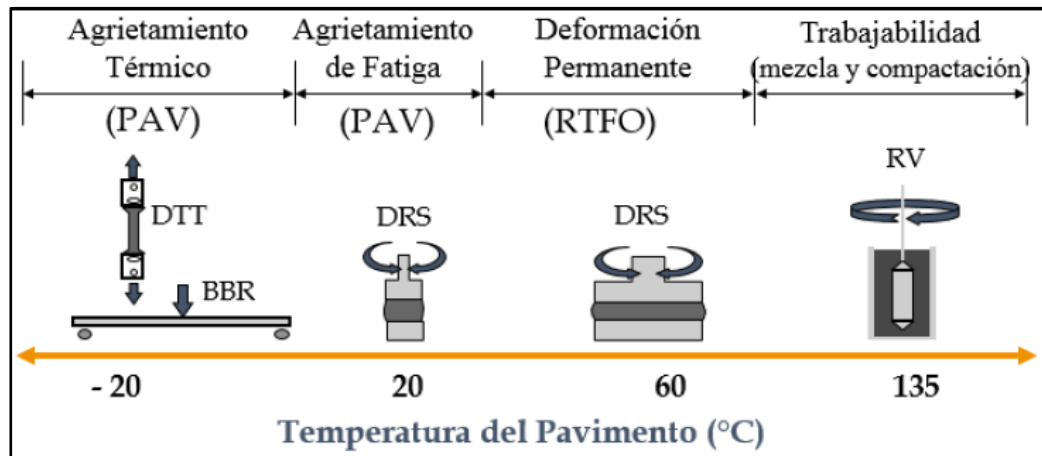


Figura 4.1 Equipos empleados para determinar las propiedades del asfalto. [26]

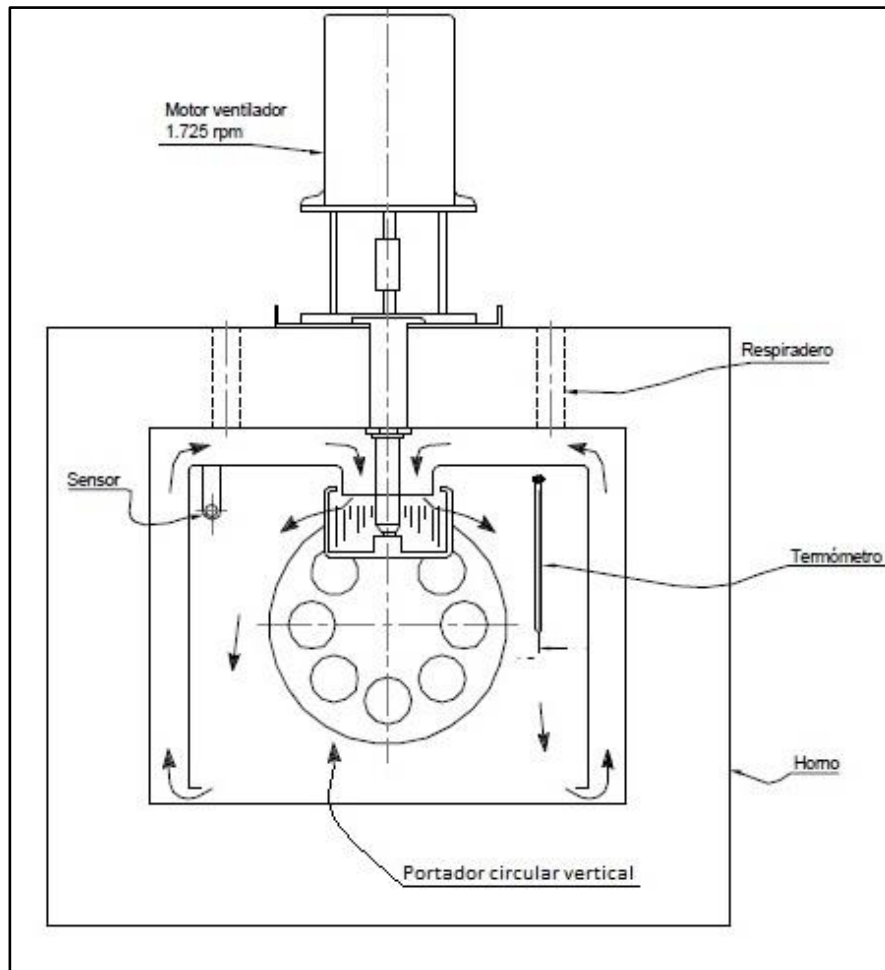
### 4.1 HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIO (HPDR)

El HPDR provoca el envejecimiento de una película delgada de ligante asfáltico por oxidación y evaporación, permitiendo evaluar la presencia de fracciones de aceites más livianos y endurecimiento.

Este ensayo simula el envejecimiento del ligante que ocurre durante el mezclado en caliente, construcción y compactación de la mezcla asfáltica. Otro propósito es determinar la cantidad de volátiles que pierde el asfalto durante el ensayo. La cantidad de éstos es indicadora del envejecimiento que puede ocurrir.

El equipo está formado por un horno que contenga circulación de aire, control termostático, portador circular vertical y surtidor para introducir aire caliente a cada contenedor, junto con un medidor de flujo, termómetro y contenedores (véase Figura 4.2).

Antes de comenzar el ensayo HPDR se debe preparar el horno y precalentarlo hasta que se estabilice en la temperatura deseada. Este ensayo consiste en una película fina de asfalto de aproximadamente 35 [gr] introducida en contenedores de vidrio cónicos los cuales son insertados en el portador circular, el cual gira continuamente recibiendo una inyección de aire cada 3 a 4 [s] con una temperatura y tiempo de ensayo determinado por las normas respectivas de cada país, para Chile corresponde a *M.C. 8.302.33: Método de ensayo de película delgada rotatoria*.



**Figura 4.2** Horno de película delgada rotatorio [6].

Una vez finalizado el periodo de ensayo se vacía todo el residuo de cada contenedor en otro de mayor tamaño para ser ensayado dentro de las 24 [h].

En ocasiones se requiere determinar el cambio de masa. Para ello se utilizan dos contenedores los cuales una vez vertido el ligante en ellos se dejan enfriar a temperatura ambiente y luego se pesan por separado. Una vez finalizado el ensayo se debe enfriar nuevamente y pesar.

El residuo obtenido de este procedimiento se utiliza para dos ensayos:

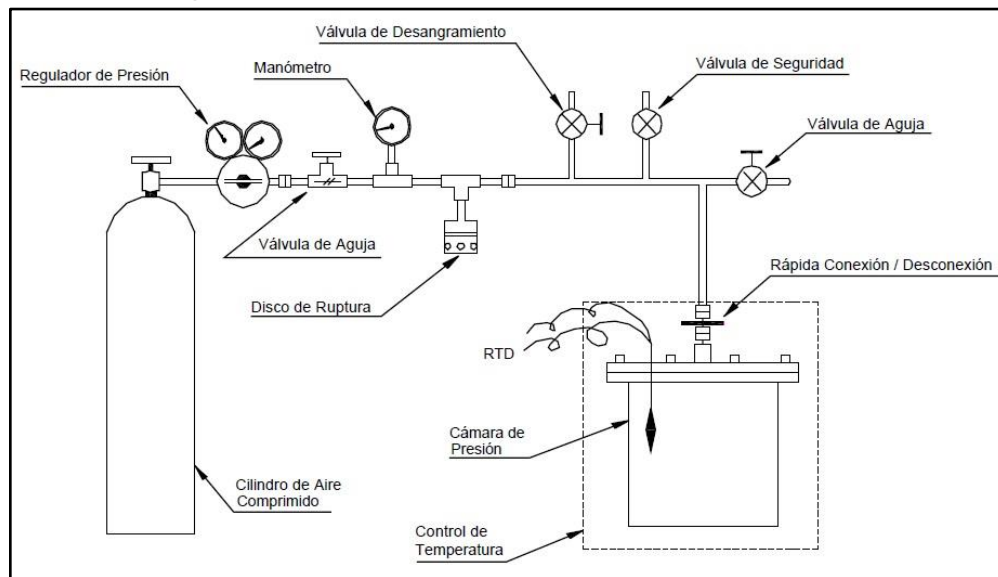
- Ensayo de Propiedades reológicas mediante el Reómetro de Corte dinámico (DSR), el cual está relacionado a la deformación permanente (y rigidización de la mezcla.
- Ahuellamiento).
- Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión (PAV).

## 4.2 ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV)

El propósito principal es simular el envejecimiento acelerado del ligante asfáltico en servicio, mediante aire presurizado y temperaturas elevadas. Como muestra se utiliza el residuo obtenido en el ensayo HPDR (véase 4.1).

El envejecimiento de ligantes asfálticos durante el servicio es afectado por un conjunto de variables asociadas, tales como las proporciones volumétricas de la mezcla, la permeabilidad de la mezcla, propiedades de los agregados y posiblemente otros factores. Este ensayo permite evaluar la resistencia relativa, de distintos ligantes asfálticos, al envejecimiento por oxidación para temperaturas seleccionadas y no considera el conjunto de todas las variables descritas [1].

Para ligantes asfálticos de diferentes grados o provenientes de distintas fuentes, no existe una correlación única entre el tiempo de envejecimiento y la temperatura utilizados en el ensayo, con la edad y temperatura del pavimento en servicio. Por lo tanto, para un conjunto de condiciones climáticas de servicio, no es posible seleccionar una sola temperatura y tiempo de envejecimiento en la cámara presurizada, que prediga las propiedades de todos los ligantes asfálticos para un conjunto específico de condiciones de exposición en servicio [1]



**Figura 4.3** Esquema de la configuración típica de un sistema de ensayo de envejecimiento acelerado en cámara de presión PAV [1].

Para este ensayo se utiliza los siguientes equipos y materiales:

- Sistema de ensayo compuesto por cámara de presión, dispositivos controladores de presión, dispositivos controladores de temperatura, dispositivos de medición de presión y temperatura, y un dispositivo de registro de temperatura. (véase Figura 4.3),
- Bandeja de acero inoxidable,
- Balanza,
- Horno de Vacío,
- Sistema de Vacío,
- Aire comprimido comercial o equivalente.

---

Este ensayo requiere que la muestra sea el residuo del ensayo de HPDR y determinar el cambio de masa producido.

El residuo es calentado hasta obtener la fluidez requerida para verter el ligante en las bandejas de acero inoxidable. A la vez se precalienta la cámara a la temperatura de envejecimiento determinada.

Cada bandeja contiene aproximadamente 50 [gr] de asfalto. Una vez listas las bandejas son colocadas en el bastidor y luego dentro de la cámara. Este procedimiento debe realizarse en el menor tiempo posible para evitar que el sistema se enfríe.

Cuando la temperatura dentro de la cámara es la deseada se aplica presión de aire e inicia el registro del tiempo del ensayo.

Al finalizar el tiempo de ensayo la presión es reducida lentamente con ayuda de la válvula desangradora o válvula de alivio hasta igualar las presiones internas y externas, evitando así el burbujeo y formación de espuma en el ligante. Durante este proceso puede ser necesario ajustar la configuración de la aguja de la válvula a la caída de presión, para mantener una rapidez de caída de presión aproximadamente lineal.

Luego las bandejas son introducidas en el horno hasta que el ligante se encuentre lo suficientemente fluido y agitando para ayudar a la remoción de las burbujas de aire.

Finalmente se precalienta el horno de vacío hasta estabilizarlo a  $170 \pm 5$  [°C], el residuo caliente de todas las bandejas es colocado en un solo recipiente que permita que el espesor del residuo sea entre 15 a 40 [mm]. Se introduce en el horno de vacío durante  $10 \pm 1$  [min], sin aplicar vacío. Después de los 10 min de equilibrio, abra la válvula de vacío tan rápidamente como sea posible, para reducir la presión en el horno a  $15 \pm 2,5$  [kPa] absolutos durante  $30 \pm 1$  [min]. Al final de los 30 [min], libere el vacío y retire la repisa. Si hay burbujas visibles en la superficie del residuo, se deben remover aplicando una antorcha o un cuchillo caliente sobre la superficie.

El residuo proveniente de este ensayo se utiliza para estimar las propiedades físicas y químicas del ligantes asfálticos después de cinco a diez años de envejecimiento del pavimento. Los ensayos que utilizan este residuo son:

- Ensayo para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante de reómetro de viga a flexión (BBR) (véase 4.3). Relacionado con el agrietamiento térmico.
- Ensayo de Propiedades reológicas mediante el reómetro de corte dinámico (DSR) (véase 4.3). Relacionado con el agrietamiento por fatiga.
- Ensayo de Tracción Directa (DTT) (véase 4.6). Relacionado con el agrietamiento térmico.



**Figura 4.4** Cámara a Presión [10]

---

### 4.3 MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

El Reómetro de Corte Dinámico (DSR), mide las propiedades viscoelásticas del ligante. Por medio de este ensayo, se mide el Módulo Complejo de Corte ( $G^*$ ) (véase 4.3.2.1) y el Ángulo de Fase ( $\delta$ ) (véase 4.3.2.2) los cuales son utilizados para determinar criterios de desempeño, sometiendo una pequeña cantidad de ligante a tensiones de corte oscilatorias, entre dos platos paralelos y midiendo la deformación de corte resultante.

Este ensayo puede ser aplicado para ligante original y envejecido por HPDR (véase 4.1) para evaluar el agrietamiento por fatiga a corto plazo o a largo plazo con residuo del PAV (véase 4.2).

La temperatura utilizada en el ensayo se relaciona con la temperatura a la que estará sometido el pavimento de acuerdo al área geográfica en que se instalará.

#### 4.3.1 Aparatos

Para llevar a cabo el ensayo de debe contar con:

- Sistema de ensayo está compuesto por:
  - Platos de ensayo,
  - Cámara ambiental,
  - Dispositivo de carga,
  - Sistema de control y registro de datos.
- Molde de la probeta
- Espátula
- Sensor de temperatura calibrado

#### 4.3.2 Terminología

##### 4.3.2.1 Módulo de corte ( $G^*$ )

Es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. Expresada como,

$$G^* = \left| \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\gamma_{m\acute{a}x}} \right|$$

**Ecuación 1** Módulo de corte ( $G^*$ ).

Donde,

|                        |   |                                    |
|------------------------|---|------------------------------------|
| $G^*$                  | : | Módulo Complejo de Corte [kPa].    |
| $\tau_{m\acute{a}x}$   | : | Tensión de corte máximo [kPa].     |
| $\gamma_{m\acute{a}x}$ | : | Deformación de corte máxima [kPa]. |

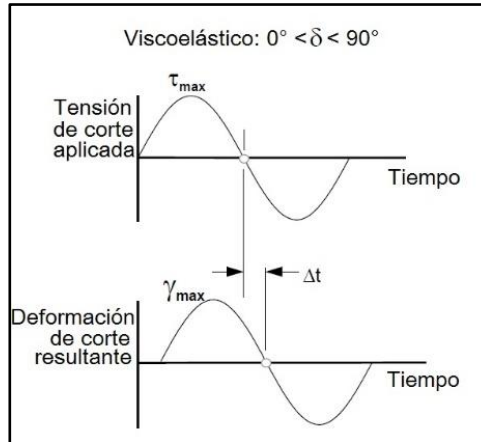
##### 4.3.2.2 Ángulo de fase ( $\delta$ )

Ángulo entre la deformación aplicada sinusoidalmente y la resultante de tensión sinusoidal en un ensaye tipo deformación controlada, o entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un ensaye tipo tensión controlada. [3]

El ángulo  $\delta$  evalúa la razón entre la respuesta elástica y la viscosa durante el proceso de corte.

Los materiales viscoelásticos tienen un ángulo de fase entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ , dependiendo de la temperatura del ensayo. Si el material es totalmente elástico, no hay retraso entre la tensión de corte y la respuesta de la deformación específica de corte. Si el material es totalmente viscoso, la respuesta está totalmente desfasada.

En la imagen Figura 4.5 se presenta el comportamiento de un material viscoelástico.



**Figura 4.5.** Ángulo de fase para materiales viscoelásticos [10].

#### 4.3.2.3 Parámetro de deformación permanente (Ahuellamiento)

El parámetro de deformación permanente se expresa como:

$$\frac{G^*}{\sin \delta}$$

**Ecuación 2** Parámetro deformación permanente.

Un ligante más rígido y elástico tendrá una mejor resistencia a la deformación permanente. Para disminuir la energía disipada, se requiere un valor más alto de este parámetro, buscando garantizar que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de la elasticidad a altas temperaturas (protección contra el ahuellamiento).

Las especificaciones recomiendan que el valor de  $G^*/\sin\delta$  sea mayor a 1 [kPa] en el ligante original y mayor a 2,2 [kPa] para el ligante con envejecimiento a corto plazo.

#### 4.3.2.4 Parámetro de control de fatiga.

El agrietamiento por fatiga, causada por cargas del tráfico (cíclicas), más crítica a temperaturas intermedias del pavimento, ocurre en la vida avanzada del pavimento por ello se simula con un ligante envejecido. Las fallas por fatiga en las carpetas asfálticas son de dos tipos:

Para pavimentos de capas finas sobre bases suaves, ocurre debido a la repetitiva flexión en esta capa (controlado por deformación).

---

Para capas gruesas, ocurre por el esfuerzo repetitivo al que se expone la capa, no ocurre mucha flexión de la capa (controlado por esfuerzo).

El parámetro de control de la fatiga se expresa como:

$$G^* \text{sen} \delta$$

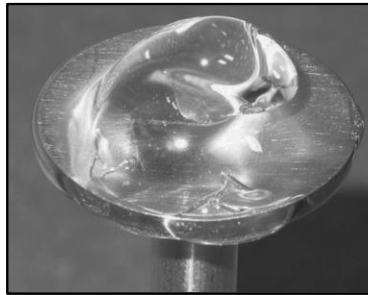
**Ecuación 3** Parámetro de control de la fatiga.

Por ende un ligante menos rígido y más elástico será más resistente a la fatiga. Para disminuir la energía disipada es necesario un  $G^* \text{sen} \delta$  más bajo, es así como este parámetro controla las futuras fisuras en el comportamiento del ligante a bajas temperaturas.

#### 4.3.3 Probeta

La probeta puede ser formada con los siguientes métodos

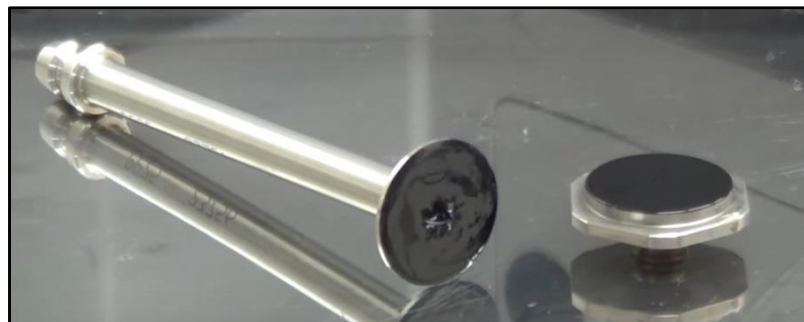
1. Aplicar directamente el asfalto en la base fija con ayuda de
  - Método de varilla de vidrio
  - Método de la espátula
  - Método directo.
2. Mediante un molde de silicona con un diámetro aproximadamente igual al del plato superior y altura aproximada de 1,5 veces la separación de los platos.



**Figura 4.6** Aplicación directa del ligante a los platos de ensayo. [17]

#### 4.3.4 Geometría de los platos

Consisten en dos platos uno inferior fijo y uno superior giratorio ilustrados en la **Figura 4.7**.



**Figura 4.7** Plato superior (Lado izquierdo) y Plato inferior (Lado derecho).

Fuente: Elaboración propia.

El DSR posee dos tamaños de platos. Uno de diámetros de 25 [mm] con un 1[mm] de separación utilizado para asfalto original y envejecido en HPDR (véase 4.1). El otro tiene un diámetro de 8 [mm] y separación de 2 [mm] para asfaltos envejecidos en PAV (véase 4.2.)

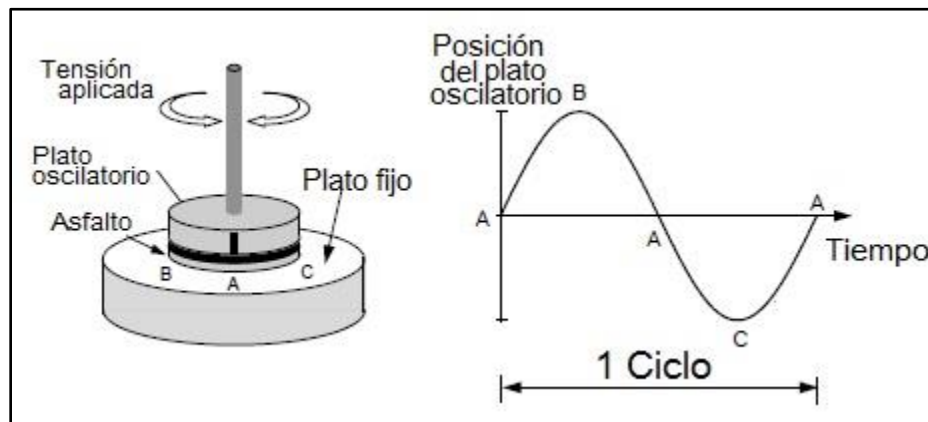
#### 4.3.5 Resumen del ensayo

Las probetas se ensayan entre los platos metálicos paralelos. Durante el ensayo, el plato superior oscila con respecto al otro a frecuencia y amplitudes de deformación rotacional (o amplitudes de torque) preseleccionadas. La amplitud requerida depende del valor del módulo complejo de corte del asfalto ensayado. Las amplitudes requeridas han sido seleccionadas para asegurar que las medidas estén dentro de la región de comportamiento lineal.

La probeta se mantiene a temperatura de ensayo por enfriamiento y calentamiento de los platos.

Las frecuencias oscilatorias de carga que se usan en este ensayo pueden ir de 1 a 100 [rad/s], usando una forma de onda sinusoidal (véase Figura 4.8 Mecanismo de aplicación de la carga del DSR.). La especificación del ensayo está establecida para una frecuencia de ensayo de 10 [rad/s]. El módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ), se calculan automáticamente como parte de la operación del reómetro, mediante el software de computador suministrado por el fabricante del equipo.

El DSR puede ser ejecutado de dos modos, controlando la deformación o tensión aplicada.



**Figura 4.8** Mecanismo de aplicación de la carga del DSR. [10]

El módulo dinámico y el ángulo de fase dependen de la magnitud de la deformación de corte; el módulo y el ángulo de fase para ligantes asfálticos disminuyen al aumentar la deformación de corte. Un gráfico de deformación de corte unitarios vs Módulo de corte complejo  $G^*$  se puede generar aumentando gradualmente la amplitud de carga o deformación, con lo cual se produce un barrido de deformación. No es necesario generar tales barridos durante ensayos normales, sin embargo, tales gráficos son útiles para verificar los límites de la región lineal.

Una región lineal puede ser definida en base a pequeñas deformaciones, donde el módulo es relativamente independiente de la deformación de corte. Esta región variará

según la magnitud del módulo complejo. La región lineal es definida como el rango en deformación donde el módulo complejo es 95% o más del valor para deformación cero.

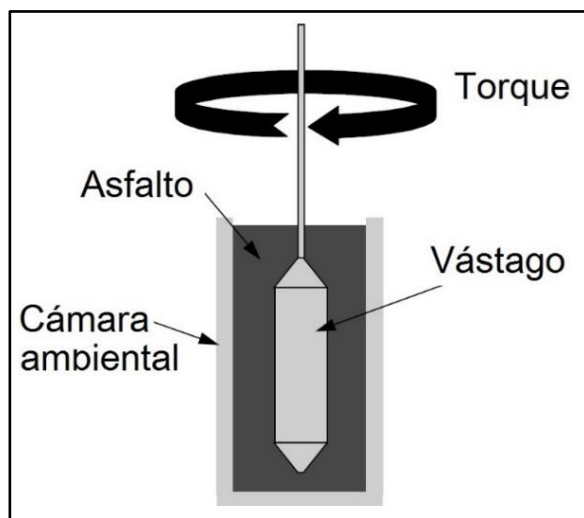
La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensaye.

#### 4.4 VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD

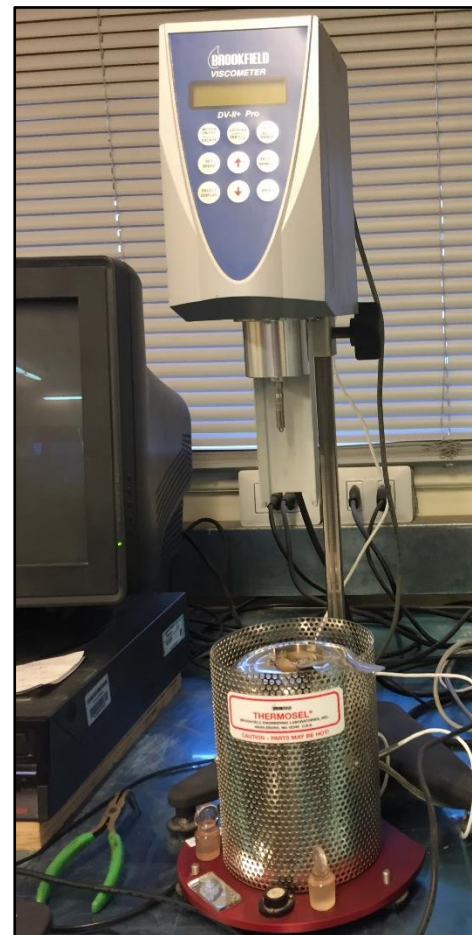
El viscosímetro Brookfield permite medir las propiedades de consistencia relacionadas al bombeo y trabajabilidad. Permite además obtener el gráfico de temperatura vs viscosidad para la mezcla asfáltica estudiada, para estimar la temperatura de mezclado y compactación de la MAC.

##### 4.4.1 Equipo, aparatos y materiales

- Viscosímetro rotacional: Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje dentro de una muestra de ligante a una velocidad constante (véase Figura 4.9),
- Vástago,
- Controlador de temperatura,
- Horno,
- Termómetros,
- Balanza,
- Solventes.



**Figura 4.9** Elementos del viscosímetro rotacional. [10]



**Figura 4.10** Viscosímetro rotacional.  
Fuente: Elaboración propia.

---

#### 4.4.2 Resumen del ensayo

Para comenzar en ensayo se debe obtener una muestra de asfalto tradicional o modificado, en estado original, y calentarlo hasta que se encuentre suficientemente fluido para ser vertido.

Pre calentar el contenedor de asfalto, vástago y el soporte. Configurar el controlador a la temperatura deseada del ensaye.

Una vez alcanzadas las temperaturas deseadas, introducir el asfalto dentro del contenedor y posteriormente dentro del controlador de temperatura.

Colocar el vástago en la parte inferior del viscosímetro e introducirlo dentro de la muestra asfáltica hasta que ésta cubra la parte cónica superior del vástago.

Llevar la muestra de asfalto a la temperatura de ensaye y permitir que se estabilice.

Configurar la velocidad del equipo a rpm y viscosidad en pascal segundos [Pa·s]. Si la lectura está fuera del rango del vástago, éste debe ser remplazado por uno más apropiado. Reemplace la muestra por una nueva.

Con el ligante asfáltico a la temperatura del ensaye se realizan tres mediciones.

Finalmente la viscosidad será el promedio de las 3 mediciones.

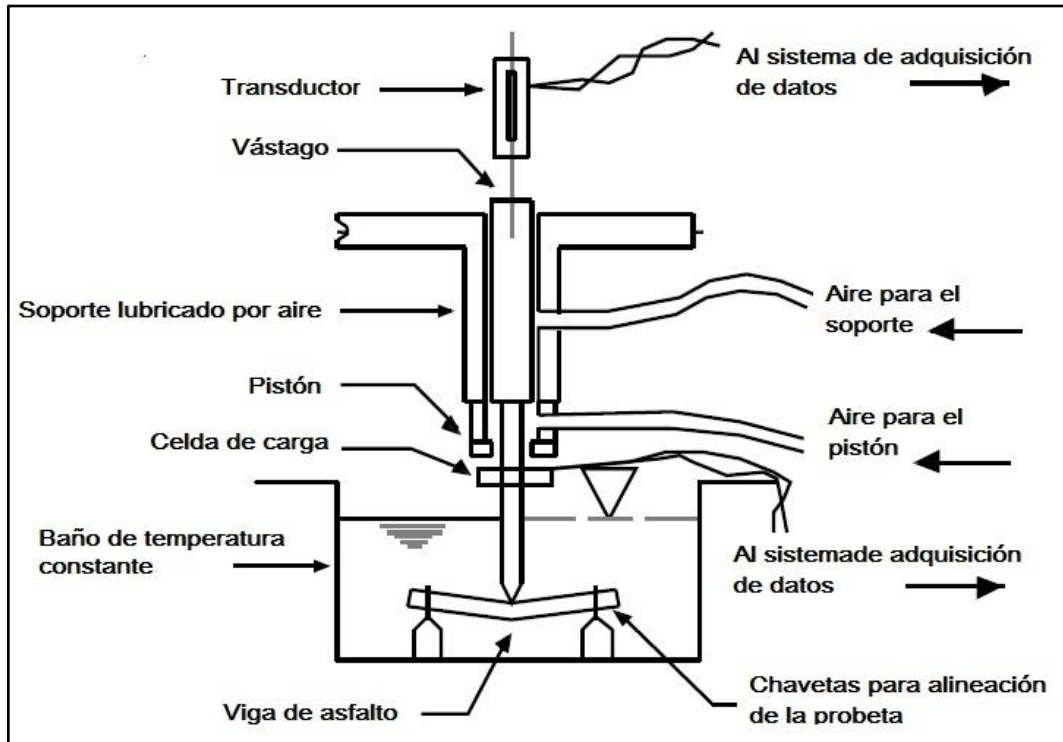
#### 4.5 MEDICIÓN DE LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN

Este método determina la rigidez en fluencia por flexión a baja temperatura mediante una carga constante de ligantes asfálticos, para ello se utiliza un reómetro de viga de flexión. Es aplicable a materiales con valores de rigidez en flexión entre 20 [MPa] y 1[GPa] (valores de deformabilidad en flexión de 50 [ $\text{nPa}^{-1}$ ] a 1 [ $\text{nPa}^{-1}$ ]) y puede ser usado con material original o envejecido mediante HPDR (véase 4.1) o PAV (véase 4.2).

##### 4.5.1 Equipo

El equipo utilizado para este ensayo consiste en (véase Figura 4.11):

1. Sistema de ensaye reómetro de viga de flexión
  - Marco de carga
    - Apoyos para la viga (véase Figura 4.12),
    - Vástago de carga,
    - Celda de carga,
    - Transductor diferencial variable lineal (LVDT).
  - Baño líquido de temperatura controlada
  - Componente de registro de datos automático
2. Equipo de medición,
3. Moldes par la viga,
4. Vigas de acero inoxidable,
5. Masas estándares,
6. Termómetros calibrados,



**Figura 4.11** Esquema del Reómetro de viga a flexión. [5]

7. Medidor de espesor,
8. Láminas plásticas,
9. Grasa a base de petróleo,
10. Mezcla Glicerol-talco,
11. Fluido para el baño térmico.

#### 4.5.2 Terminología

Para este ensayo existen términos que es necesario conocer para entender el desarrollo del ensayo e interpretar de forma adecuada los resultados:



**Figura 4.12** Probeta sobre los soportes y dentro del baño líquido.  
Fuente: Elaboración propia.

---

#### 4.5.2.1 Módulo de Rigidez por fluencia en flexión S(t)

Razón entre la tensión máxima aplicada ( $\sigma$ ) y la deformación máxima resultante en flexión de la viga ( $\epsilon$ ). Está relacionado con las tensiones térmicas debido a la contracción por efecto de las bajas temperaturas.

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta}$$

*Ecuación 4* Módulo de Rigidez.

Donde,

|          |   |  |
|----------|---|--|
| S(t)     | : | Módulo de Rigidez [MPa].               |
| P        | : | Carga constante [N].                   |
| L        | : | Luz (Distancia entre los apoyos) [mm]. |
| b        | : | Ancho de la viga [mm].                 |
| h        | : | Espesor de la viga [mm].               |
| $\delta$ | : | Deflexión de la viga [mm].             |

#### 4.5.2.2 Deformación por fluencia en flexión D(t).

Razón entre la máxima deformación en flexión ( $\epsilon$ ). y la tensión máxima en flexión de la viga ( $\sigma$ ).

$$D(t) = \frac{\epsilon}{\sigma}$$

*Ecuación 5* Máxima deformación de la viga.

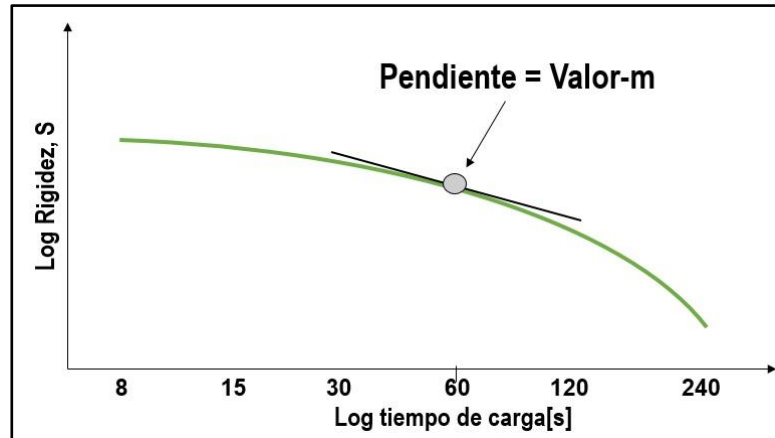
Donde,

|            |   |  |
|------------|---|--|
| $\epsilon$ | : | Máxima deformación de la viga [mm/mm].     |
| $\sigma$   | : | Tensión máxima en flexión de la viga [MPa] |

#### 4.5.2.3 Valor-m

Corresponde al logaritmo de la velocidad de deformación en fluencia, obteniéndose matemáticamente como la pendiente de la curva del logaritmo de la curva de rigidez versus el logaritmo del tiempo. Relacionado con la capacidad del pavimento para aliviar las tensiones producto de la contracción que ocurre a bajas temperaturas.

La resistencia de mezclas asfálticas al agrietamiento térmico a bajas temperaturas, está relacionada con la rigidez en fluencia (véase 4.5.2.1) y el “valor m” (véase 4.5.2.3), para el ligante asfáltico contenido en la mezcla. Los ligantes con una baja rigidez en fluencia no se fisurarán en tiempos fríos. De la misma forma, ligantes con altos valores de m son más efectivos en la relajación de tensiones que ocurren en el pavimento, cuando la temperatura desciende de esta forma. Por lo tanto se requiere para el diseño un límite máximo en la rigidez por fluencia (Tensión térmica no muy grande) y un límite mínimo de valor-m para poder aliviar las tensiones térmicas y asegurar un agrietamiento mínimo.

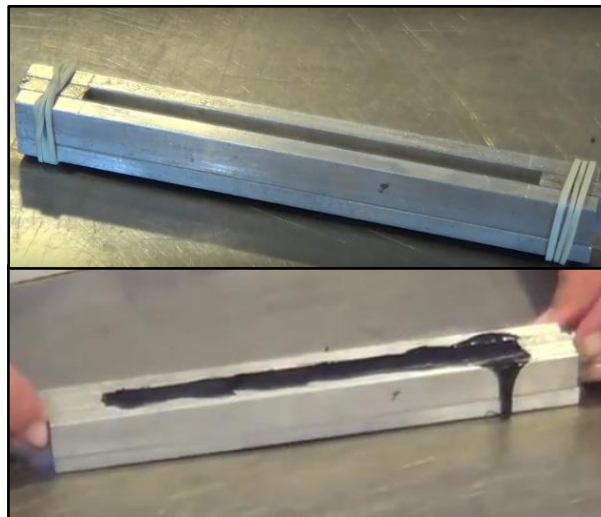


**Figura 4.13.** Curva para determinar el valor-m.  
Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.3 Probeta

Para realizar la probeta se utilizan moldes de aluminio (véase Figura 4.14), se calienta el ligante (residuo proveniente del PAV descrito en el punto 4.2) hasta que esté lo suficientemente fluido para poder ser vertido dentro del molde.

Una vez vertido se deja enfriar a temperatura ambiente entre 45 – 60 [min] y luego por pocos minutos enfriarlo en un congelador o baño de hielo hasta que pueda ser desmoldado sin distorsionarse.



**Figura 4.14** Molde y probeta de BBR. Elaboración propia.  
Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.4 Resumen del ensayo

El reómetro de viga de flexión mide la deflexión en el punto medio de una viga de ligante asfáltico (véase 0) simplemente apoyada, sometida a carga constante aplicada en su punto medio. El dispositivo opera sólo en el modo de carga, es decir, no se obtienen mediciones de recuperación [5].

---

Se coloca una viga de ensaye en un baño de fluido a temperatura controlada y se somete a carga constante por 240 [s]. La carga de ensaye ( $980 \pm 50$  [mN]) y la deflexión del punto medio de la viga se registran usando un software de monitoreo durante el ensaye [5].

La máxima tensión en flexión ocurrida en el punto medio de la viga se calcula a partir de las dimensiones de la viga, la luz (distancia entre apoyos) y la carga aplicada a la viga, a intervalos de tiempo (8, 15, 30, 60, 120 y 240 [s]). La máxima deformación unitaria de flexión en la viga se calcula para los mismos intervalos de tiempo de carga, a partir de las dimensiones y la deflexión de la viga. La rigidez de la viga para los tiempos de carga especificados se calcula dividiendo la tensión máxima por la deformación unitaria máxima [5].

Para verificar que la carga completa de ensaye ( $980 \pm 50$  [mN]) se aplica dentro de los primeros 0,5 [s], se informa la carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 [s]. Estos datos no se usan en el cálculo de la rigidez ni del “valor m” y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo en que se aplica la carga total de ensaye puede verse afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, presión de aire inapropiada, malfuncionamiento de los sistemas de aire (esticción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0,0 y 0,5 [s], el usuario de los resultados del ensaye puede determinar las condiciones de carga [5].

#### **4.6 ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (DTT)**

Los materiales que se estiran considerablemente antes de fallar (incluyendo asfaltos) son considerados “dúctiles”. Los que se rompen con poca deformación se denominan “frágiles”. Aun antes de SHRP, numerosos estudios de comportamiento de asfaltos a baja temperatura demostraron que existe una clara relación entre la rigidez de los ligantes asfálticos y la magnitud de alargamiento que sufren antes de fallar. Generalmente, los asfaltos más rígidos son más frágiles y los menos rígidos más dúctiles. Esto fue confirmado por los investigadores de SHRP usando el recién desarrollado equipo BBR.

Desafortunadamente, la rigidez en el ensayo de fluencia, tal cual la mide el BBR, no basta para caracterizar completamente la capacidad de algunos asfaltos de alargarse hasta la rotura. Por ejemplo, algunos ligantes muestran alta resistencia a la deformación y pueden alargarse más que otros antes de fracturarse.

En consecuencia los investigadores de SHRP elaboraron un sistema para incluir a estos ligantes, a los cuales se les permitiría tener una alta resistencia a la deformación si muestran un comportamiento razonablemente dúctil a baja temperatura.

Los investigadores de SHRP resolvieron este problema diseñando un aparato que mide directamente la deformación a la falla a muy bajas temperaturas. Se lo denominó aparato de tracción directa (DTT). Aun cuando el concepto de tracción directa es simple, el equipo usado requiere dispositivos especiales, debido a las muy pequeñas deformaciones y al alto grado de precisión requerida en el ensayo.

En el ensayo de tensión directa, una muestra de asfalto en forma de “hueso de perro” es estirada a una velocidad constante, muy pequeña, hasta la falla. La deformación en la falla es usada para calcular la deformación específica a la falla, que es un indicador del comportamiento, frágil o dúctil, a baja temperatura.

El resultado del ensayo DTT es la deformación específica en el momento de falla a la temperatura especificada. Esta deformación específica es el aumento en longitud, expresado como porcentaje de la longitud original (véase Figura 4.16).

#### 4.6.1 Aparatos y equipo

1.- Sistema de ensayo de tracción directa:

- Máquina de tracción de carga de desplazamiento controlado,
- Sistema de sujeción de la probeta,
- Baño líquido o cámara aislada, que permita un control uniforme, preciso y exacto de la temperatura durante el acondicionamiento y ensayo de la probeta,
- Dispositivo de medición y registro de carga en tiempo real,
- Dispositivo de medición y registro de elongación en tiempo real,
- Dispositivo de medición y registro de temperatura en tiempo real,
- Dispositivo de medición y despliegue de datos en tiempo real.

2.- Moldes,

3.- Placas para almacenamiento de las probetas,

4.- Termómetro calibrado,

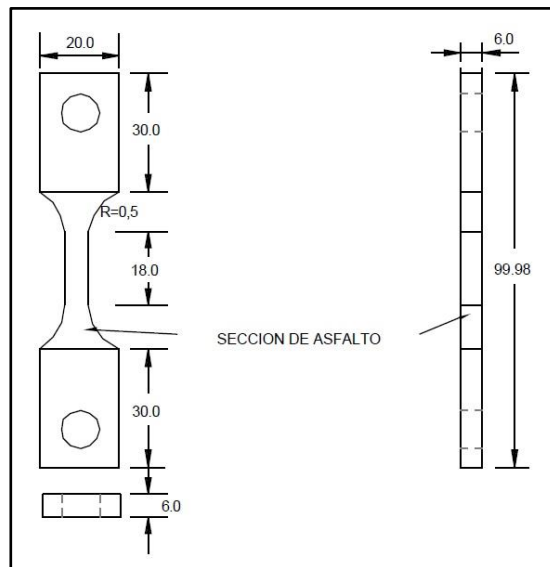
5.- Congelador,

6.- Horno.

#### 4.6.2 Probeta

Se utiliza residuo proveniente de PAV (véase 4.2), el cual es calentado y vertido en el molde evitando la incorporación de burbujas de aire o vacíos. Se deja enfriar a temperatura ambiente para luego ser enrasado y desmoldado.

Las dimensiones del molde de la probeta se muestran en la Figura 4.15.



**Figura 4.15** Dimensiones de la Probeta para el Ensayo de Tracción Directa.

---

### 4.6.3 Descripción del ensayo

Se coloca la probeta dentro del baño enfriador o la cámara, sobre una de las bandejas. La cara enrasada debe quedar hacia arriba. Ajustar el baño a temperatura de ensayo, esperar que se estabilice y acondicionar la probeta según especificaciones de la norma, en el caso de Chile corresponde M.C. 8.302.26.

En caso de que el ensayo se realice con sistemas de enfriador basado en baño de fluido, montar la probeta sobre el marco de carga haciendo calzar los orificios de los terminales en las chavetas con un extremo de la muestra y ajuste el marco de carga manualmente hasta que el otro extremo de la probeta calce dentro de su lugar. Verifique el asentamiento de la probeta moviendo las pinzas suavemente sobre los terminales en cada uno de los extremos de la muestra. [11]

Una vez que la probeta se encuentre sobre las chavetas de carga, elimine la holgura entre la probeta y chavetas de carga. Iniciar la deformación y comenzar el ensayo cuando se alcancen los  $2 \pm 0,3$  [N].

Para sistemas con enfriamiento por aire forzado. Después de  $60 \pm 10$  [min], se monta la probeta sobre las chavetas usando la puerta de acceso manual de la cámara, de tal manera que la cara posterior del terminal esté centrada sobre la chaveta de montaje. No se debe abrir la puerta de la cámara para manipular o montar la probeta, para evitar fluctuaciones de temperatura, lo cual retrasa la estabilización y afecta la variabilidad térmica histórica. Manipule las probetas tocando sólo los terminales, sin tocar el ligante asfáltico.

Luego se aplica una precarga, montando la probeta como se describió previamente y aplicando una elongación de la sección para desarrollar una carga de 1 a 2 [N], esto puede reducir la variabilidad del ensayo. Tan pronto se alcanza la carga se detiene el movimiento de la platina que permite el relajo de la carga hasta que no sea apreciable. El tiempo requerido depende de la rigidez del ligante. Una vez que la carga ha sido liberada, se continúa el ensayo como se describe a continuación. [11]

Se selecciona la velocidad de deformación deseada y carga la probeta hasta la falla y una tasa de deformación que entregue una velocidad de elongación de la sección medida efectiva de  $1,00 \pm 0,01$  [mm/min]. Si la probeta falla fuera del área efectiva de la muestra, se descarta el ensayo. [11]

Se ensaya un total de 6 probetas. La tensión y deformación de falla son inherentemente variables para los ligantes asfálticos. El ensayo de múltiples probetas puede producir diferencias obvias. Para las seis probetas ensayadas, se descartan los dos valores más bajos de tensión y deformación de falla y energía, y recalcula el promedio y desviación estándar para los cuatro valores de falla restante. [11]

La Tensión de falla es obtenida como:

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A}$$

**Ecuación 6** Tensión de falla.

Donde,  $\sigma_f$  : Tensión de falla [MPa].  
 $P_f$  : Carga de falla [N].  
 $A$  : Área original de la sección transversal [m<sup>2</sup>].

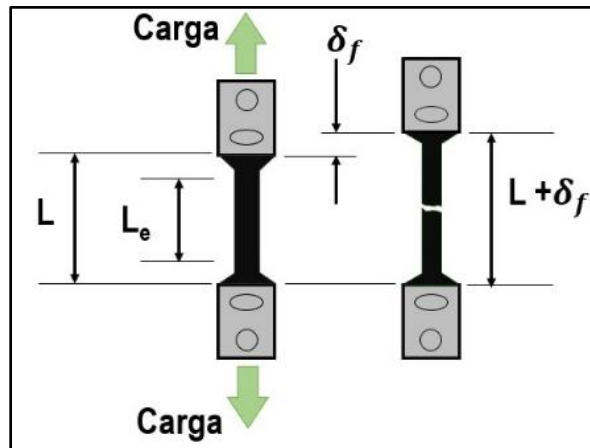
---

La Deformación de falla se calcula como:

$$\varepsilon_f = \frac{\delta_f}{L_e}$$

**Ecuación 7** Deformación de falla.

Donde,  $\varepsilon_f$  : Deformación de falla [mm/mm].  
 $\delta_f$  : Elongación de falla [mm].  
 $L_e$  : Largo efectivo [mm].



**Figura 4.16.** Deformación de falla DTT. [28]

---

## **5 NORMATIVA PARA MÉTODO SUPERPAVE**

### **5.1 IMPORTANCIA DE LA NORMATIVA**

Se entiende por normativa a las formas que poseen las entidades relacionadas a la construcción para configurar determinado procedimiento.

Las normas permiten mantener los estándares óptimos que aseguren la calidad y seguridad de la construcción, acordes con los avances de la técnica y la tecnología, permitiendo que cada uno de los procesos sea más eficientes en relación a los productos esperados.

Asimismo aclaran la responsabilidad y actuación, ya sea del trabajador, equipo, u otros entes involucrados en el procedimiento por medio de un marco de acción técnico correcto para lograr el objetivo.

Junto a lo anterior las normas producen la estandarización de los procesos, por ende, de la información y resultados obtenidos, no dando espacio a la ambigüedad y permitiendo sean comparados con otros resultados.

Por lo anterior, tener normas adecuadas y vigentes es una herramienta de gran utilidad para avanzar en el desarrollo tanto de la técnica y tecnología, la innovación y estándar de construcción en Chile.

En cuanto a las normas Superpave para ligantes del Manual de Carreteras, fueron publicadas en el año 2003 y sólo ha sido modificado en el año 2012 uno de los ensayos para ligantes asfálticos.

Considerando lo mencionado anteriormente y sumándose el hecho que se ha comenzado a utilizar esta nueva metodología de diseño en Chile, resulta sumamente importante realizar una actualización de dichas normas, considerando los nuevos estudios realizados durante los últimos años.

Las propiedades reológicas del asfalto juegan un rol importante en el desempeño de los pavimentos (véase Capítulo 2.2.2) y su estudio facilita el diseño de la mezcla asfáltica. Por esta razón se decide comenzar la actualización de las normas con los ligantes asfálticos, dejando este análisis abierto a su continuidad.

### **5.2 NORMATIVAS**

#### **5.2.1 Manual de carreteras**

Estamento perteneciente a la Dirección de Vialidad encargado de la coordinación del tema técnico en el Servicio y de la confección, actualización y mantención de los diferentes volúmenes del Manual de Carreteras.

Documento elaborado con el objeto de establecer políticas y uniformar procedimientos e instrucciones en las distintas áreas técnicas en que ésta se desenvuelve, para cumplir su función de planificar, diseñar, construir, conservar y operar las carreteras y caminos que componen la red vial del país de su tuición; junto con velar por la seguridad vial y protección ambiental.

El Manual de Carreteras está concebido como un sistema integral, en permanente actualización, que entrega pautas, métodos, procedimientos y criterios aplicables en las diferentes materias, apoyando a profesionales y técnicos, tanto públicos como privados.

---

Consta de 9 volúmenes:

- Volumen N°1: Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial
  - Tomo I : Planificación y Desarrollo Vial
  - Tomo II: Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos
  - Tomo III: Evaluación de Proyectos Viales Urbanos
- Volumen N°2: Procedimientos de Estudios Viales
- Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño
- Volumen N°4: Planos de Obras Tipo
- Volumen N°5: Especificaciones Tec G. de Construcción
- Volumen N°6: Seguridad Vial
- Volumen N°7: Mantenimiento Vial
- Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control
- Volumen N°9: Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales

### **5.2.2 American Society for Testing and Materials (ASTM)**

Es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. Existen alrededor de 12.575 acuerdos voluntarios de normas de aplicación mundial. Las oficinas principales de la organización ASTM international están ubicadas en West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos, al noroeste de la ciudad de Filadelfia.

La organización fue fundada el 29 de febrero de 1898, como la sección Americana de la Asociación Internacional para el Ensayo y Materiales (IATM) por iniciativa de Charles Dudley, entonces responsable del control de calidad de Pennsylvania Railroad, quien tuvo la iniciativa de hacer que los hasta entonces ferrocarriles rivales y las fundiciones de acero coordinaran sus controles de calidad, ya que el problema que enfrentaba la creciente industria del ferrocarril era la frecuente rotura de los rieles utilizados.

Algunos años antes se había fundado la International Association for Testing and Materials (IATM), y justamente el 16 de junio de 1898 los setenta miembros de la IATM se reunieron en Filadelfia para fundar la sección americana de la organización.

En 1902, la sección americana se constituye como organización autónoma con el nombre de American Society for Testing and Materials, que se volverá universalmente conocida en el mundo técnico como ASTM. Dudley fue, naturalmente, el primer presidente de la ASTM.

El campo de acción de la ASTM se fue ampliando con el tiempo, pasando a tratar no solo de los materiales ferroviarios, sino todos los tipos de materiales, abarcando un espectro muy amplio, comprendiendo los revestimientos y los mismos procesos de tratamiento.

El desarrollo de la normativización en los años 1923 al 1930 llevó a un gran desarrollo de la ASTM (de la cual por ejemplo Henry Ford fue miembro). El campo de aplicación se amplió, y en el curso de la segunda guerra mundial la ASTM tuvo un rol importante en la definición de los materiales, consiguiendo conciliar las dificultades bélicas con las exigencias de calidad de la producción en masa. Era por lo tanto natural un cierto reconocimiento de esta expansión y en 1961 ASTM fue redefinida como American Society for Testing and Materials, habiendo sido ampliado también su

---

objetivo. A partir de ese momento la cobertura de la ASTM, además de cubrir los tradicionales materiales de construcción, pasó a ocuparse de los materiales y equipos más variados, como las muestras metalográficas, cascos para motociclistas, equipos deportivos, etc.

En el 2001 la ASTM asume su nombre actual como testimonio del interés supranacional que actualmente han alcanzado las técnicas de normativización.

La ASTM está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica.

### **5.2.3 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)**

La Asociación Americana de funcionarios de la Autoridad Estatal (AASHO) fue fundada el 12 de diciembre de 1914. Su nombre fue cambiado a la Asociación Americana de la Autoridad Estatal y los Oficiales de Transporte el 13 de noviembre de 1973. El cambio de nombre refleja un alcance ampliado para cubrir todos los modos de transporte. Aunque la mayoría de sus actividades siguen siendo específicas para carreteras. AASHTO no es un organismo gubernamental, sí posee poderes cuasi-gubernamentales en el sentido de que las organizaciones que suministran a sus miembros obedecen habitualmente a la mayoría de las decisiones de la AASHTO.

Este organismo establece normas, publica especificaciones y realiza pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. A pesar de su nombre, la asociación representa no sólo a las carreteras, sino también al transporte por aire, ferrocarril, agua y transporte público.

La AASHTO está compuesta por miembros del Departamento de Transporte de cada estado de Estados Unidos, así como de Puerto Rico y del Distrito de Columbia. El Departamento de Transporte de Estados Unidos, algunos condados y ciudades estadounidenses, operadores de peajes, la mayoría de las provincias canadienses al igual que los departamento de carreteras de Hong Kong, el Ministro de Obras Públicas y Asentamientos de Turquía y la Asociación Nigeriana de Funcionarios de Carreteras y Transporte Público son miembros observadores sin voto.

Su objetivo principal es fomentar el desarrollo, operación y mantenimiento de un sistema de transporte integrado. AASHTO trabaja para educar al público y a los principales tomadores de decisiones sobre el papel crítico que desempeña el transporte para asegurar una buena calidad de vida y economía sólida para Estados Unidos. AASHTO sirve de enlace entre los departamentos estatales de transporte y el gobierno federal. A la vez es un líder internacional en el establecimiento de estándares técnicos para todas las fases del desarrollo de sistemas de carreteras. Se emiten normas para el diseño, construcción de autopistas y puentes, materiales y muchas otras áreas técnicas. AASHTO sirve como un catalizador para la excelencia en el transporte ofreciendo:

- Soluciones inteligentes y prácticas prometedoras,
- Información crítica, capacitación y datos,
- Asistencia técnica directa a los estados, y
- Experiencia indiscutible.

---

El desarrollo de políticas, el establecimiento de estándares y las actividades técnicas de AASHTO son el producto del personal voluntario del departamento estatal de transporte que trabaja a través de la estructura del comité AASHTO. Los comités colaboran a lo largo del año y suelen reunirse anualmente. Estos comités, que representan el más alto nivel de experiencia en transporte en el país, abordan prácticamente todos los aspectos de la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de los servicios de transporte.

### **5.3 MODIFICACIÓN DE LAS NORMAS DEL MÉTODO SUPERPAVE PARA LIGANTES**

Junto con los diversos estudios realizados durante las últimas décadas respecto a los ensayos de ligantes asfálticos para la metodología Superpave se han ido actualizando las normativas de cada uno de ellos. A continuación se presenta la evolución que han presentado las normas analizadas.

#### **5.3.1 ASTM**

##### **5.3.1.1 D7175 Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer**

- 2005
- 2005e1
- 2007
- 2008
- 2015

##### **5.3.1.2 D6521 Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)**

- 2000
- 2003a
- 2004
- 2005
- 2008
- 2013

##### **5.3.1.3 D4402 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer**

- 1987(2000)e1
- 2002
- 2006
- 2012

- 
- 2012M
  - 2013
  - 2013M
  - 2015

**5.3.1.4** D6648 Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR)

- 2001
- 2008

**5.3.1.5** D2872 Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)

- 1997
- 2004
- 2012
- 2012e1

**5.3.2 AASHTO**

**5.3.2.1** T315 Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)

- TP 5 1998
- 1 de Enero 2006
- 1 de Enero 2008
- 1 de Enero 2009
- 1 de Enero 2010
- 1 de Enero 2012
- 1 de Enero 2012- MODIFICADO incluye todas las modificaciones y cambios a través de su nueva aprobación aviso de 2016.

**5.3.2.2** R28 Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder using a Pressurized Aging Vessel (PAV)

- 1 de Enero 2006
- 1 de Enero 2009
- 1 de Enero 2012
- 1 de Enero 2012 MODIFICADO incluye todas las modificaciones y cambios a través de su nueva aprobación aviso de 2016.

---

**5.3.2.3** T316 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures using a Rotational Viscometer

- TP-48 1 de Octubre 1997 Method for Viscosity Determination of Asphalt using a Rotational Viscometer
- 1 de Enero 2006
- 1 de Enero 2010
- 1 de Enero 2011
- 1 de Enero 2013

**5.3.2.4** T313 Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder using the Bending Beam Rheometer (BBR)

- TP1-98
- 1 de Enero 2006
- 1 de Enero 2008
- 1 de Enero 2009
- 1 de Enero 2010
- 1 de Enero 2012
- 1 de Enero 2012 MODIFICADO incluye todas las modificaciones y cambios a través de su nueva aprobación aviso de 2016.

**5.3.2.5** T240 Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)

- 1 de Enero 2006
- 1 de Enero 2008
- 1 de Enero 2009
- 1 de Enero 2013

**5.3.3 Manual de Carreteras**

**5.3.3.1** 8.302.22 Asfaltos: Método Superpave de Medición de Propiedades Reológicas Mediante el Reómetro de Corte Dinámico

- Diciembre 2003, única versión existente.

**5.3.3.2** 8.302.23 asfaltos: Método Superpave de Envejecimiento Acelerado de Ligantes Asfálticos en Cámara a Presión (PAV)

- Diciembre 2003
- Marzo 2012 ,

- 
- En Método 8.302.23, puntos **2, 4 y 5.1 a)**, suprimase la mención del Método 8.302.32. [12]
  - En Método 8.302.23, sustitúyase el texto del punto **5.2**, insertando a continuación la Nota 3, según se indica a continuación, y renumérense las Notas anteriores: "**5.2 Bandejas de Acero Inoxidable.** Diez bandejas cilíndricas de acero inoxidable de 140 [mm] de diámetro interior, 9,5[mm] de profundidad, con el fondo plano y en lo posible, de 0,6 [mm] de espesor (mínimo 0,4 [mm])". [12]
  - **Nota 3:** Las bandejas tienen tendencia a deformarse o doblarse con el uso. Las bandejas confeccionadas con una hoja N°24 de acero inoxidable cumplen con el espesor recomendado. Las bandejas de hoja N°26 de un metal inoxidable también son aceptables, pero tienen una mayor tendencia a doblarse durante su uso. Sin embargo, en ningún caso los espesores del metal serán menores que 0,4 [mm]. [12]

**5.3.3.3** 8.302.24 asfaltos: Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfield

- Diciembre 2003, única versión existente.

**5.3.3.4** 8.302.25 asfaltos: Método Superpave para medir la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas mediante reómetro de viga a flexión

- Diciembre 2003, única versión existente.

**5.3.3.5** 8.302.33 asfaltos: Método de ensaye de película delgada rotatoria

- Diciembre 2003, única versión existente.

---

## **6 ANÁLISIS COMPARATIVO**

En el presente estudio se realizan cuadros comparativos para cada ensayo de ligantes asfálticos utilizados por la metodología Superpave. En los cuales se considera la última versión de la normativa correspondiente para cada ensayo en M.C., AASHTO y ASTM. Los cuadros son presentados en los ANEXOS A, B, C, D y E.

A continuación se enseña el análisis obtenido a partir de los cuadros comparativos desarrollados de los cinco ensayos estudiados en el M.C.

### **6.1 MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

Las normas comparadas para el ensayo de película delgada rotaria (HPDR o RTFOT) son, M.C. 8.302.33 (Diciembre 2003) [6], AASHTO T240 -13 [13], ASTM D2872 -12 [14]

En el Anexo A se encuentra el cuadro comparativo de estas tres normas. Los aspectos relevantes se describen a continuación.

#### **6.1.1 Alcances y campo de aplicación**

Manual de carreteras permite el ensayo para ligantes que no sean semisólidos solo en caso de investigación (véase Anexo A).

#### **6.1.2 Resumen**

Esta es la diferencia más relevante encontrada en esta norma, M.C. determina como tiempo de ensayo 75 [min], mientras AASHTO y ASTM utiliza 85 [min]. Considerando que este ensayo mide el envejecimiento a corto plazo del ligante asfáltico, una diferencia de 10 [min] menos en el tiempo de ensayo, significa una exposición menor de la película de ligante al aire y calor, es decir las probetas alcanzan un envejecimiento menor, arrojando resultados que podrían ser interpretados como un mejor desempeño del ligante. Por lo recién mencionado se considera óptimo utilizar 85 [min] (véase anexo A5).

#### **6.1.3 Relevancia y uso**

Este ítem no se considera en el M.C. Las otras normativas consideran funciones del ensayos tales como, la simulación de las características del ligante durante el mezclado y construcción del pavimento. Determinación del cambio de masa como efecto del ensayo, además de la utilización del residuo para otros ensayos. (véase anexo A5- A9).

#### **6.1.4 Aparatos**

Existen diferencias insignificantes (milésimas) entre las dimensiones o posiciones de los aparatos.

M.C. detalla la ubicación exacta para el sensor del termostato mientras las otras normas solo exigen que el horno mantenga la temperatura específica en este método. (véase A17).

ASTM junto a AASHTO consideran la calibración y ubicación del medidor de flujo (véase A23 y A24).

---

En relación al termómetro ASTM y AASHTO proponer revestir el termómetro para prevenir su rotura (véase A27). Además proponen una alternativa de un sistema digital en donde ASTM es más rigurosa (véase A28 – A31).

En AASHTO exige más características para los contenedores (véase A32).

AASHTO especifica requisitos para la balanza de acuerdo al uso (véase A33).

La rejilla de refrigeración no es considerada por el método del M.C., las otras normas poseen la misma descripción. Se considera adecuado agregarlo a la normativa Chilena (véase A34).

AASHTO propone de modo opcional el uso de un nivel electrónico. Si bien este punto no tiene mayor relevancia para el desarrollo del ensayo, podría brindar mayor precisión y comodidad al operador (véase A35 – A36).

### **6.1.5 Preparación del Horno**

ASTM entrega dos opciones para determinar el tiempo de pre calentamiento del horno, la primera es un método en función a las condiciones de ensayo que se utilizarán y el otro es pre calentarlo durante 4 [h]. Por su parte M.C. y AASHTO establecen el periodo como 2 [h] (véase A37 y A38).

AASHTO considera la nivelación general del horno y el desgaste de la viga soportante (véase A41-A42).

Las normativas extranjeras especifican que el periodo en que le flujo de aire debe estar encendido (véase A43).

ASTM y AASHTO exigen que los contenedores, independiente que no posean muestra, se encuentren en el portador al momento de realizar en ensayo por efectos de distribución de la temperatura (véase A44).

### **6.1.6 Procedimiento de Ensayo**

AASHTO es la normativa más detallista para el procedimiento del ensayo. Por el contrario M.C. carece de información. ASTM Y AASHTO son muy similares, sólo difieren en la temperatura máxima del horno para preparar la muestra (véase A45), la tolerancia del flujo de aire (véase A54) y ASTM no exige la medición de contenedores vacíos (véase A46) y la notificación en caso de derrame desde los contenedores (véase A63).

En esta sección se vuelve a mencionar el tiempo de ensayo visto en 6.1.2.

El M.C. no hace referencia respecto a la medición de la masa de los contenedores (véase A46), rotación del frasco contenedor inmediatamente después de verter el ligante (véase A47 y A49), cuidados para obtener la medición del cambio de masa con precisión (véase A50, A51 y A65), tiempo de enfriamiento de la muestra dentro de los contenedores (véase A52), tiempo permitido para remover el residuo desde los contenedores (véase A59), raspado de contenedores y homogeneización del residuo (véase A60 y A61) y respecto al derrame en los contenedores (véase A64).

M.C. no permite el raspado del residuo desde el frasco una vez finalizado el acondicionamiento del ligante, en cambio las normativas extranjeras si lo aceptan

---

permitiendo obtener mayor cantidad de residuo para los ensayos posteriores (véase A58).

Una diferencia significativa se encuentra en el tiempo permitido para realizar los ensayos posteriores con el residuo obtenido, M.C. acepta 24 [h], ASTM 72 [h] y AASHTO no lo especifica (véase A62).

### **6.1.7 Informe**

La única variación entre las normas es que M.C. no considera el reporte para el cambio de masa ni pérdida del ligante (véase A67- A69).

### **6.1.8 Precisión**

AASHTO y ASTM incluyen la precisión estimada para la pérdida de masa. Ambas normas consideran rangos distintos. ASTM se basa en un análisis de *AMRL* aproximadamente de 5900 repeticiones de este ensayo y lo expresa mediante ecuaciones por rangos, mientras AASHTO está basado en *NCHRP Project No. 9-26, Phase 3*, se expresa por una ecuación estándar, pero junto a ella adjunta otra tabla estratificada con porcentajes de pérdida de masa para hacer más rápida su aplicación (véase A70 – A74).

### **6.1.9 Anexo**

AASHTO incluye un anexo sobre un procedimiento opcional para nivelación del portador metálico circular (véase A75).

## **6.2 MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV)**

Las normas consideradas para este ensayo corresponden a M.C. 8.302.23 (Marzo 2012) [1], AASHTO R 28–12 [15], ASTM D6521–13 [16].

La normativa M.C. 8.302.23 fue actualizada en el año 2012 y de acuerdo a las referencias de ésta versión se ha utilizado AASHTO R28 del 2009, la cual no ha tenido grandes variaciones con la versión vigente del año 2014.

### **6.2.1 Alcance y aplicación**

ASTM incluye en su normativa dos notas, una con referencia a ligantes modificados y su posible comportamiento bajo las condiciones del ensayo (véase B1) y la otra respecto a la restricción del ligante (véase B2).

ASTM hace referencia a que los valores indicados en unidades SI se consideran estándar.

### **6.2.2 Terminología**

No existe variación entre M.C. y AASHTO. ASTM refiere a Terminology D8 para este propósito (véase B4).

### **6.2.3 Resumen del método**

Las tres normativas son idénticas.

---

#### **6.2.4 Materiales y equipos**

Las diferenciaciones de esta sección no producen variaciones en la obtención de los resultados del ensayo. Pero se destaca que de las diferencias encontradas, los valores establecidos por ASTM son más holgados.

ASTM incorpora notas respecto a las dimensiones y precalentamiento de la cámara a presión (véase B5 y B10 respectivamente), materialidad y comportamiento de las bandejas (véase B16 y B17), manómetro (véase B21) y aire comprimido (véase B22 y B23).

El tiempo de reducción de presión hasta atmosférica local considerado por ASTM es de 8 – 15 [min], mientras que para las otras normas es de  $9 \pm 1$  [min] una diferencia aproximada de un tercio del tiempo (véase B8).

#### **6.2.5 Calibración y estandarización**

No existe disparidad entre M.C. y AASHTO.

Los procedimientos de verificación y calibración descritos en ASTM son más detallados, rigurosos y complementados con notas (véase B24- B32).

ASTM considera las exigencias y una breve descripción para los procedimientos de verificación, mientras las otras normas sólo expresan exigencias. Además de incluir la nivelación de la muestra (véase B31 y B32).

#### **6.2.6 Procedimiento**

M.C. no permite utilizar el raspado del ligante proveniente de HPDR (véase B33).

ASTM especifica un método para determinar la temperatura dentro de la cámara antes de aplicar la presión, en cambio, las otras normas establecen una temperatura fija para todos los ligantes (véase B34).

En el procedimiento M.C. y ASTM especifican la colocación de las bandejas dentro del horno de vacío a temperatura y tiempo específico (véase B37), mientras AASHTO R 28 sólo exige tiempo y temperatura mínimas que permita verter el asfalto.

M.C. es la única normativa que menciona precauciones de manipulación del ligante (véase B39 y B40).

ASTM considera indispensable que el ligante sea calentado antes de ser sometido a vacío, M.C. y AASHTO no realizan alusión al respecto (véase B42).

AASHTO incluye en el procedimiento la corrección de la lectura de la presión de acuerdo a la altura (véase B44 y B45), precauciones para la desgasificación (véase B46), preparación de muestras directamente desde los contenedores (véase B47) y corrección de la presión de acuerdo a la elevación (véase B48).

#### **6.2.7 Informe**

Exigen la misma información para el reporte.

---

## 6.2.8 Precisión

La investigación requerida para desarrollar estimaciones de precisión para los ensayos en residuos de PAV no se ha efectuado [1][15].

## 6.3 MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

Para este ensayo las normas comparadas son, M.C. 8.302.22 (Diciembre 2003) [3], AASHTO T 315-12 [17], ASTM D7175-15 [18].

### 6.3.1 Alcance y aplicación

El rango de temperatura en que típicamente se encuentra el Módulo de Corte Dinámico [ $G^*$ ] difiere insignificamente entre las tres normas. ASTM es aquella que contempla el rango más amplio de 4–88 [°C] (véase C1).

M.C. no especifica la frecuencia angular en que se alcanza el módulo de corte dinámico (véase C2).

### 6.3.2 Terminología

AASHTO es la norma más completa en este punto. Considerando la definición de acondicionamiento del ligante, probetas de prueba, termómetro portátil, termómetro de referencia, equilibrio térmico, calibración, ciclo de carga, temperatura de corrección, verificación, que el M.C. no lo hace (véase C4-C16).

### 6.3.3 Resumen del método

AASHTO y ASTM incluyen la colocación de los platos en un ambiente térmicamente controlado o en una cámara de ensayo (véase C18)

El rango de la frecuencia oscilatoria de ASTM es 60 [rad/s], superior al de las otras normas (véase C19).

### 6.3.4 Interferencias

ASTM considera algunos factores que pueden influir en el desarrollo normal del ensayo (véase C21-C23).

### 6.3.5 Aparatos

La tolerancia de la dimensión del diámetro de los platos varía insignificamente entre las normas. ASTM posee diferencias entre las tolerancias informadas en 7.1.1 y la Fig.1 (véase C25–C28).

ASTM Y ASSHTO consideran adecuado que el relieve de los platos sea mayor a 1,5 milímetros, por su parte M.C. determina un rango de 2 - 5 [mm] (véase C29).

ASTM Y AASHTO, especifican un método de verificación de la concentricidad (véase C31). Junto a la utilización de elementos peltier para controlar la temperatura (véase C32).

Sólo AASHTO establece que no debe modificar la velocidad de bombeo del baño una vez que la temperatura haya sido ajustada (véase C31).

---

M.C. Y AASHTO recomiendan termómetros con RTD de platino y ser calibrados como una unidad integral (véase C36 y C37).

M.C. y AASHTO explican la modalidad de deformación controlada y tensión controlada (véase C38).

ASTM y AASHTO incluyen la precisión para la adquisición de los datos (véase C40).

La altura de la probeta ASTM y AASHTO determinan que debe ser mayor o igual a 5 [mm], en cambio M.C. lo asocia a la separación de los platos que debe ser 1,5 veces esta (véase C41).

ASTM Y AASHTO incluyen una descripción para termómetro de referencia, de mercurio y digital junto a la recomendación de un dispositivo de visualización óptico (véase C44 - C50).

### **6.3.6 Materiales**

ASTM Y AASHTO describen los utensilios y solventes para realizar la limpieza (véase C51 - C52).

### **6.3.7 Preparación de los aparatos**

ASTM junto a AASHTO consideran los cuidados previos de los aparatos, debido a la importancia de las dimensiones de la probeta es relevante que sobre todo los platos se encuentren en perfectas condiciones. También hacen hincapié al ajuste de la distancia inicial (véase C56 - C57) y adhesión del ligante (véase C63).

ASTM entrega mayor información.

### **6.3.8 Verificación y calibración**

Las tres métodos proponen una frecuencia distinta de verificación del DSR y sus componentes (véase C64)

Las normas extranjeras exigen la medición del diámetro de los platos. La precisión del diámetro de los platos es sumamente importante debido a que un error de  $\pm 0,05$  [mm] en la medición de los platos de 25 [mm] implica un error de 0,08% en el módulo de corte, esta situación es aún más acentuada en el caso de los platos de 8 [mm] en donde el mismo error conlleva a un 2,5 % de error (véase C65).

ASTM Y AASHTO realizan un gráfico con la información obtenida de las temperaturas de la probeta de prueba para obtener la temperatura de corrección.

ASTM y AASHTO detallan por separado el procedimiento a llevar a cabo en caso de utilizar sello de silicona o probeta de prueba con un termómetro portátil en su interior (véase C72 y C74).

El ítem de temperatura en M.C. es poco claro y desordenado en ideas.

### **6.3.9 Preparación muestras de ensayo**

AASHTO exige la desgasificación para ligantes acondicionados por HPDR y PAV (véase C87).

---

### 6.3.10 Preparación probetas de ensayo

M.C. realiza y determina un acondicionamiento del sistema para recibir la probeta diferenciando la temperatura para platos de 8 [mm] (véase C91). ASTM y AASHTO consideran tres formas para preparar probetas, agregando la transferencia directa que no es considerada por Manual de Carreteras. AASHTO complementa ambas normas (véase C91 - C107).

De acuerdo a ASTM y AASHTO el método de vertido sólo puede ser utilizado en reómetros que por diseño permitan remover los platos sin afectar la separación inicial (véase C94).

Las normas correspondientes a ASTM y AASHTO describen idénticamente el método de transferencia directa (véase C96 - C97).

En cuanto a la utilización de moldes de silicona, ASTM destaca el hecho de no cortar la superficie y AASHTO tapar el molde mientras se enfría la probeta para evitar ser contaminada (véase C98 - C99).

AASHTO entrega mayor detalle del montaje de las probetas en los platos.

Para enfriar el molde con la probeta, M.C. permite realizarla a temperaturas inferiores a la ambiente, mientras ASTM y AASHTO presenta las consecuencias de este acto (véase C101).

La normativa extranjera incorpora la limpieza y solventes que pueden ser utilizados en los moldes de silicona (véase C102).

AASHTO y ASTM incluyen un anexo con el procedimiento adecuado para determinar la cuantía necesaria de disminución de la distancia entre los platos y crear la protuberancia adecuada. Por otra parte M.C. establece una medida determinada (véase C170 - C180).

En general ASTM y AASHTO incorporan más información respectiva a la preparación del ensayo.

### 6.3.11 Procedimiento

ASTM y AASHTO anexan método para determinar el tiempo correcto que permita alcanzar el equilibrio térmico.

M.C. y AASHTO piden determinar el control de deformación y tensión dentro de un 20 % del valor obtenido de las ecuaciones presentadas (véase C112 - C113).

El momento para ajustar la distancia de separación de los platos es definida por M.C. y AASHTO (véase C108).

M.C. y AASHTO consideran adecuado comenzar el barrido de temperaturas por la temperatura media del rango y aumentar o disminuir hasta cubrir el rango, en cambio ASTM establece comenzar de la menor para platos de 25 [mm] y de la mayor temperatura para platos de 8 [mm] (véase C110).

Existe una variación del doble en el tiempo que debe llevarse a cabo el ensayo entre M.C. junto a AASHTO con ASTM (véase C 116).

Una gran diferencia se encuentra en el nivel de tensión y rango de tensión, ASTM amplifica los valores 10 veces (véase C117).

---

### **6.3.12 Interpretación de los resultados**

No existen diferencias significativas entre las normas. M.C. y AASHTO incorporan el comportamiento y factores dependientes para el cálculo de la tensión de corte (véase C118 - C119).

### **6.3.13 Precisión y Sesgo**

ASTM y AASHTO son idénticas y se basan en NCHRP Project No. 9-26, Phase 3.

AASHTO considera los promedios obtenidos de acuerdo al método de envejecimiento al cual ha sido expuesto el ligante o si se trabaja con un ligante original.

### **6.3.14 Anexos**

ASTM y AASHTO son similares, ambas incluyen anexos para los gráficos de control, uso del fluido de referencia, selección de la distancia inicial para obtener la protuberancia y determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. Mientras M.C. sólo describe la linealidad de ensayo del ligante asfáltico en donde existen discrepancias con la descripción de las otras normativas (véase C126 - C137).

## **6.4 MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

La normativa utilizada para el ensayo del Viscosímetro Rotacional Brookfield son, M.C. 8.302.24 (Diciembre 2003) [4], AASHTO T316 -13 [19], ASTM D4402M -15 [20]

### **6.4.1 Alcance y campo de aplicación**

M.C. y AASHTO consideran un rango más acotado de la temperatura a la que se medirá la viscosidad (véase D1).

La descripción del método es bastante similar, siendo M.C. un poco más completo (véase D3).

### **6.4.2 Terminología**

Este punto en el ASTM incluye la descripción de más términos. Mientras AASHTO y M.C. se limitan a la definición de viscosidad. Los conceptos incluidos por ASTM corresponden a viscosidad aparente, asfalto con polvo mineral, líquido newtoniano, velocidad de corte y esfuerzo de corte. Facilitando el correcto entendimiento de la norma (véase D6 a D9).

### **6.4.3 Resumen del método.**

El resumen del método es idéntico en las tres normas.

### **6.4.4 Aparatos y materiales**

En cuanto al rango que el controlador de temperatura debe ser capaz de mantener, las tres normativas expresan diferencias entre ellas, M.C. lo determina entre 65 a 165 grados Celsius o mayores, ASTM desde 38 a  $150 \pm 1$  [°C] y de 150 a  $260 \pm 2$  [°C] finalmente AASHTO a partir de los 60 hasta 200 [°C]. Considerando que M.C. y AASHTO especifican que el rango de temperatura de ensayo es de 60 a 200 [°C], se inferirá que se requiere mantener la temperatura en este rango (véase D11).

---

M.C. y AASHTO hacen referencia a las características del horno, pero difieren en el rango de temperatura que debe ser capaz de mantener (véase D12).

La especificación del termómetro para M.C. y AASHTO sólo condiciona el rango de temperatura que debe ser capaz de medir. ASTM es específica en tipo y sistema de termómetro que se debe utilizar sin hacer referencia al rango de temperatura que debe permitir su lectura (véase D13).

Para la balanza, ASTM se limita a exigir la precisión que debe cumplir (véase D14).

#### **6.4.5 Calibración y estandarización**

En este ítem ASTM resulta ser más minuciosa que las otras dos normas incluyendo frecuencias de realización y precisión (véase D16 - D20).

#### **6.4.6 Preparación del aparato**

Solo es abarcado por ASTM y AASHTO, ambas normas concuerdan con el método, pero AASHTO es más detallada (véase D15).

#### **6.4.7 Preparación de las muestras**

El método para preparar la muestra es idéntico en M.C. y AASHTO. La normativa ASTM no hace referencia a ello (véase D21 - D23).

#### **6.4.8 Procedimiento de ensayo**

La descripción del procedimiento desarrollado tanto por la normativa chilena y AASHTO es general. Por otra parte ASTM incluye una cantidad mayor de detalles para cada paso.

ASTM incorpora recomendaciones para seleccionar el tamaño adecuado del vástago y volumen de la muestra, siendo éste último punto, crítico para cumplir con el estándar de calibración del sistema.

ASTM considera el caso en que se ensayan asfaltos con polvo mineral, para los cuales el procedimiento tiene algunas alternaciones (véase D38 y D41).

Para realizar las mediciones, M.C. exige realizar tres lecturas a intervalos de 3 minutos. En cambio las otras normas exigen las mismas tres lecturas pero a intervalos de 1 [min] (véase D37).

ASTM considera el procedimiento en caso de ensayar muestras de asfalto con polvo mineral (véase D38 - D41).

#### **6.4.9 Resultados e informe**

La información y presentación exigida por las tres normas es idéntica.

#### **6.4.10 Precisión y Sesgo**

ASTM junto con AASHTO son obtenidos de la misma investigación *NCHRP Project No. 9-26, Phase 3*. ASTM incluye precisión para el caso de estudios de tejas asfálticas, lo cual no será considerado porque no corresponde al área en estudio (véase D42 - D53).

---

Los valores entregados por M.C. son casi el doble que las otras normas en estudio. A su vez la norma carece de referencia que avale estos valores (véase D42 - D45).

## **6.5 MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

Para realizar la medición de la rigidez en fluencia por flexión a bajas temperaturas se han elegido las siguientes normas, M.C. 8.302.25 (Diciembre 2003) [5], AASHTO T313 -12 [21], ASTM D6648 -08 [22].

### **6.5.1 Alcance y campo de aplicación**

El alcance y aplicación descrita por las tres normas sólo posee una variación que consiste en el rango de temperatura de operación del equipo, M.C. considera temperaturas positivas (véase E1), tomando en cuenta que este ensayo es a bajas temperaturas, que el equipo tenga capacidad para un rango de temperaturas más altas no influye ni proporciona un beneficio.

### **6.5.2 Terminología**

M.C. no es clara en cuanto a la traducción que realizada de los términos, habla de creep, flexural creep, generando dificultad y confusión en la comprensión del ensayo.

ASTM y AASHTO incorporan una breve descripción de la estimación de la rigidez en fluencia (véase E5).

ASTM define la lectura inicial de la celda de carga (véase E8).

M.C. junto a AASHTO establecen la carga de asentamiento y tiempo de ensayo (véase E6 y E7).

### **6.5.3 Resumen del método**

Los tres primeros puntos del resumen son idénticas. M.C. añade la comprobación de la esticción (véase E10).

### **6.5.4 Significado y uso**

No existe diferencia alguna entre las normas.

### **6.5.5 Interferencias**

ASTM considera interferencias en cuanto a los límites de flexión apropiados.

### **6.5.6 Aparatos**

Existen diferencias insignificantes en las tolerancias de las mediciones de los aparatos.

La tolerancia descrita para la carga de ensayo varía significativamente, M.C. considera  $\pm 5$  [mN] para los primero 5 [s] y  $\pm 10$  [mN] para el resto del tiempo, ASTM y AASHTO  $\pm 50$  [mN] y  $\pm 10$  [mN] (véase E17).

ASTM brinda la opción de utilizar moldes de silicona para la creación de la probeta (véase E37).

---

Las normas extranjeras estipulan las masas requeridas para la calibración de la celda de carga, el chequeo diario del sistema y la precisión de éstas (véase E39 – E43).

ASTM da la opción de utilizar un dispositivo de alineación (véase E46).

### **6.5.7 Materiales**

ASTM incluye las bandas elásticas par moldes de acero, láminas para el molde de silicona, y el espesor y rigidez para las láminas de silicona (véase E47-E51).

M.C. difiere de los porcentajes de mezcla Glicerol-Talco (véase E 54).

Para el baño líquido, ASTM permite utilizar isopropanol estabilizado (véase E 55).

### **6.5.8 Peligros**

ASTM y AASHTO dedican un ítem para los peligros a los que se ve expuesto el laboratorista durante el desarrollo del ensayo. Ambas normas son idénticas (véase E70 - E72).

### **6.5.9 Preparación de los aparatos**

El método utilizado es el mismo en las tres normas.

### **6.5.10 Estandarización**

ASTM y AASHTO exigen los mismos protocolos para la verificación del transductor de desplazamiento, celda de carga, sistema de presión de aire, sistema general y verificación de la alineación del eje de carga. Además (véase E60 a E70, E72 y E73), ASTM contempla el procedimiento de verificación para el cero de la celda de carga (véase E71).

M.C. y AASHTO son más estrictas en el rango de variación de las mediciones del transductor de desplazamiento, exigiendo una verificación si estas exceden  $\pm 5$  [ $\mu\text{m}$ ]. El caso de ASTM lo realiza al superar los  $\pm 15$  [ $\mu\text{m}$ ]. Se considera como una diferencia que sí implica en los resultados (véase E62).

ASTM Y AASHTO consideran una verificación para el rango de la carga de contacto y carga de ensayo, brindando mayor detalle de cada procedimiento. Por su parte M.C. sólo refiere al procedimiento en general (véase E69 y E70).

Sólo M.C. describe el procedimiento para determinar la deformación del sistema de carga (véase E74).

### **6.5.11 Preparación de las probetas de ensayo**

ASTM, es la norma más completa y minuciosa en la preparación previa al ensayo. Incluye una inspección, preparación de los moldes (véase E79 - E82) y calentamiento del ligante (véase E84). Continúa con el mismo criterio para corte de la muestra (véase E66), llenado de moldes (véase E87) y desmolde de la muestra (véase E91 - E92), procedimientos que solo se encuentran descritos por esta normativa.

AASHTO exige desgasificar antes de ensayar (véase E83).

---

### 6.5.12 Procedimiento

Al igual que para el punto anterior ASTM es más específica. Por ejemplo, para la aplicación de carga de contacto (véase E107 - E108). Para el caso del, acondicionamiento de la probeta, medición del espesor de la probeta (véase E94 - E100), chequeo de la carga de contacto y ensayo (véase E101 - E108) y tiempo cero de ensayo sólo son consideradas por esta.

ASTM y AASHTO exige que la viga retorne a la carga de prueba para que la prueba se considere válida.

### 6.5.13 Precisión y sesgo

M.C. junto a ASTM presentan la misma tabla de precisión y son menos exigentes que la expuesta por AASHTO basada en *NCHRP Project No. 9-26, phase 3* (véase E110 – E118).

### 6.5.14 Presentación de la información

Las tres normas presentan la información entregada por el equipo mediante la misma tabla, variando la información complementaria que cada una exige.

M.C. y AASHTO presentan exactamente el mismo modelo de reporte.

ASTM dentro del reporte pide información respecto a la calibración de cada una de las partes del equipo. Por su parte las otras normas requieren la diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como,  $100 \% \times \frac{(Rigidez\ Estimada - Rigidez\ Medida)}{Rigidez\ Medida}$ .

### 6.5.15 Información obligatoria.

ASTM y AASHTO describen la calibración para el transductor de desplazamiento, celda de carga, transductor de temperatura y deformación del sistema.

M.C. y AASHTO ilustran el resultado de una prueba típica y exponen que sólo deben ser utilizados los valores medidos entre los 8 y 240 [s] debido a que los datos obtenidos inmediatamente después de aplicar la carga pueden no ser válidos.

## 7 ANÁLISIS DE LA ELECCIÓN DE NORMAS MEDIANTE CRITERIOS

El cuadro comparativo considera la implicancia, existencia de igualdad entre las normas y elección de una normativa en cada ítem. Para este último punto se utilizan los siguientes criterios:

1. Clima de la zona en que se ha realizado la investigación.
2. Fecha de actualización de la norma.
3. Estudios e información realizada específicamente para el área de vialidad y pavimentación.
4. Mayor información relevante para cada punto.
5. Ya considerado en versión actual del Manual de Carreteras.
6. No aplica al estudio en cuestión.

En base a los 6 criterios antes mencionados, se crea una evaluación para determinar cuál es la normativa más adecuada para cada método analizado y cuáles son los criterios más utilizados.

Para el caso en que existe igualdad entre normas y se ha elegido una de ellas, entonces, para el cálculo de la relevancia se considera que ambas han sido elegidas. Es la razón por la cual la sumatoria de los porcentajes supera el 100%.

### 7.1 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS Y CONCLUSIONES OBTENIDAS

#### 7.1.1 HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA

En el ANEXO A, columna 11 – 13 se encuentra el desglose de los datos analizados.

| HPDR         |             |             |             |       |    |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|----|
| CRITERIO     | M.C.        | ASTM        | AASHTO      | TOTAL | %  |
| 1            | 0           | 0           | 0           | 0     | 0  |
| 2            | 0           | 15          | 18          | 33    | 45 |
| 3            | 0           | 15          | 34          | 49    | 66 |
| 4            | 1           | 1           | 12          | 14    | 19 |
| 5            | 9           | 0           | 8           | 17    | 23 |
| <b>TOTAL</b> | <b>10</b>   | <b>31</b>   | <b>72</b>   |       |    |
| <b>%</b>     | <b>13,5</b> | <b>41,9</b> | <b>97,3</b> |       |    |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.1** Igualdad entre las normas HPDR y elección entre ellas.

| <b>HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIO</b> |                       |                 |          |
|--|-----------------------|-----------------|----------|
| <b>IGUALDAD EN NORMAS</b>                  | <b>ELECCIÓN NORMA</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>%</b> |
| ASTM – AASHTO                              | AASHTO                | 31              | 41,9     |
| M.C. – AASHTO                              | M.C.                  | 8               | 10,8     |
| M.C. – ASTM                                | AASHTO                | 3               | 4,1      |
| NO   | AASHTO                | 30              | 40,5     |
|  | M.C.                  | 2               | 2,7      |
| TOTAL                                      |                       | 74              | 100,0    |

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios utilizados al elegir M.C. han sido el 4 y 5, por incluir información más relevante o por ser considerada en la versión actual.

El criterio 3 es el más utilizado con un 66% de los casos, de estos, el 69% corresponde a la elección de la norma AASHTO.

La elección de un 97% corresponde a la información incluida por la norma AASHTO y solo en un 13,5 % (10 ítems) se ha optado por el Manual de Carreteras, de las cuales 8 son igualdades con AASHTO.

En la norma del procedimiento de acondicionamiento del ligante asfáltico a corto plazo, la mayor igualdad es entre ASTM y AASHTO con un 41,9% de las situaciones. Donde en el 100% de estos casos se elige AASHTO.

En un 56,8% de los casos existe igualdad entre normas, la elección de la norma es AASHTO con un 81%, mientras que el M.C. es del 19%.

De los 32 casos que no hay similitud entre las normas, AASHTO en 30 de ellas entrega mayor información, es decir, en 93,8% de ellos. Sólo un 6,2% la elección de la norma es el M.C.

Considerando las conclusiones obtenidas y el grado de relevancia de cada norma, se determina basar la propuesta de actualización de la metodología de acondicionamiento del ligante en el horno de película delgada rotatorio en AASHTO T240-13.

## 7.1.2 ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN

En el ANEXO B, columna 11-13 se encuentra el desglose de los datos analizados.

**Tabla 7.2** Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para el acondicionamiento en PAV.

| PAV                  |             |             |             |       |               |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------|
| CRITERIO             | M.C.        | ASTM        | AASHTO      | TOTAL | RELEVANCIA[%] |
| 1                    | 0           | 0           | 0           | 0     | 0,0           |
| 2                    | 1           | 0           | 0           | 1     | 2,1           |
| 3                    | 0           | 2           | 21          | 23    | 47,9          |
| 4                    | 0           | 4           | 9           | 13    | 27,1          |
| 5                    | 12          | 0           | 9           | 21    | 43,8          |
| <b>TOTAL</b>         | <b>13</b>   | <b>6</b>    | <b>39</b>   |       |               |
| <b>RELEVANCIA[%]</b> | <b>27,1</b> | <b>12,5</b> | <b>81,3</b> |       |               |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.3** Igualdad entre las normas PAV y elección entre ellas.

| PAV                |                |          |      |
|--------------------|----------------|----------|------|
| IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CANTIDAD | %    |
| ASTM – AASHTO      | AASHTO         | 1        | 2,1  |
| M.C. – AASHTO      | AASHTO         | 1        | 2,1  |
|                    | ASTM           | 1        | 2,1  |
|                    | M.C.           | 8        | 16,7 |
| NO                 | AASHTO         | 29       | 60,4 |
|                    | ASTM           | 4        | 8,3  |
|                    | M.C.           | 4        | 8,3  |
| TOTAL              |                | 48       | 100  |

Fuente: Elaboración propia.

En la elección de las normas en función a criterios para el acondicionamiento en PAV, el criterio 3 es el más utilizado con un 47,9% de los casos. De estos, el 91,3% corresponde a la elección de la norma AASHTO.

Los criterios utilizados al elegir M.C. han sido el 2 y 5, debido a su fecha de actualización o por ser considerada en la versión actual.

La norma AASHTO es la con mayor relevancia con un 81,3%. Seguido por el M.C. con un 27,1% (13 ítems, de los cuales 8 de ellos tienen igualdad con AASHTO).

De los 48 casos analizados, en un 23% de ellos existe igualdad entre normas. Donde la igualdad entre M.C. – AASHTO es la más relevante con un 90,9% y representando un 20,2% del total de las situaciones.

Del 77% de los ítems en que no existe similitud entre las normas, la elección recae en AASHTO en un 78,4% de los casos.

La última actualización del manual de carretera fue basada en AASHTO R28-09, por lo cual existe una gran similitud entre estas normas, lo cual se refleja en la baja cantidad de diferencias encontradas para este procedimiento. Considerando que el porcentaje de relevancia para AASHTO es de un 81,3% y un 60,4% de las diferencias donde la información entregada por AASHTO no es considerada por las otras normativas, es que, se realiza la propuesta de actualización en base a la última versión de AASHTO R28 correspondiente al año 2012.

### 7.1.3 MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

En el ANEXO C, columna 11-13 se encuentra el desglose de los datos analizados.

**Tabla 7.4** Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para la medición para la medición de las propiedades reológicas.

| REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO |      |      |        |       |               |
|----------------------------|------|------|--------|-------|---------------|
| CRITERIO                   | M.C. | ASTM | AASHTO | TOTAL | RELEVANCIA[%] |
| 1                          | 0    | 0    | 0      | 0     | 0,0           |
| 2                          | 1    | 86   | 84     | 171   | 88,1          |
| 3                          | 7    | 23   | 53     | 83    | 42,8          |
| 4                          | 0    | 12   | 28     | 40    | 20,6          |
| 5                          | 15   | 1    | 14     | 30    | 15,5          |
| <b>TOTAL</b>               | 23   | 122  | 179    |       |               |
| <b>RELEVANCIA[%]</b>       | 11,9 | 62,9 | 92,3   |       |               |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.5** Igualdad entre las normas DSR y elección entre ellas.

| REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO |                |            |            |
|----------------------------|----------------|------------|------------|
| IGUALDAD EN NORMAS         | ELECCIÓN NORMA | CANTIDAD   | %          |
| ASTM – AASHTO              | AASHTO         | 23         | 11,9       |
|                            | ASTM           | 83         | 42,8       |
| M.C. – AASHTO              | AASHTO         | 3          | 1,5        |
|                            | M.C.           | 17         | 8,8        |
| M.C. – ASTM                | ASTM           | 1          | 0,5        |
|                            | M.C.           | 1          | 0,5        |
| NO                         | AASHTO         | 52         | 26,8       |
|                            | ASTM           | 13         | 6,7        |
| TODAS                      | AASHTO         | 1          | 0,5        |
| <b>TOTAL</b>               |                | <b>194</b> | <b>100</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios utilizados al elegir M.C. han sido el 2, 3 y 5, correspondientes al clima de la zona, fecha de actualización y por ser considerada en la versión actual.

La elección de las normas en función a criterios utilizados para la medición para de las propiedades reológicas, arroja que en el 88,1% de los casos el criterio más utilizado ha sido el 2.

Se observa un equilibrio entre la distribución de relevancia de las normas que componen el criterio 2. En ellas, la norma ASTM es representa el 50,3% y la norma AASHTO un 49,1%. El M.C. aporta sólo el 0,6% de relevancia.

La distribución por relevancia de normas, arroja que la información incluida por AASHTO está presente en el 92,3% de los ítems, ASTM se está representada en el 62,9%, mientras que el Manual de Carreteras en el 11,9%.

De los 23 ítems en que se considera el M.C, 17 son igualdades con AASHTO. Es decir, en el 73,9%.

Al revisar la igualdad entre las normas DSR y la elección entre ellas, esta alcanza el 66% de los casos. Donde la más relevante se produce entre ASTM – AASHTO con un 54,7% de las situaciones de las cuales en el 78,3% de las situaciones se elige ASTM.

En el 33,5% de los casos no se produce igualdad entre las normas, esto contempla el 26,8% en que se elige AASHTO y el 6,7% ASTM de la información proporcionada.

De los ítems en revisión, en uno de ellos existe igualdad entre las tres normas, de las cuales, la elección recae en la norma AASHTO.

Del total de ítems, la norma con mayor elección es ASTM con un 50%, seguido por AASHTO con un 40,7% y luego el M.C. con 9,3%.

#### 7.1.4 VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD

En el ANEXO D, columna 11-13 se encuentra el desglose de los datos analizados.

**Tabla 7.6** Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para el viscosímetro rotacional Brookfield

| <b>VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD</b> |             |             |               |              |                      |
|---|-------------|-------------|---------------|--------------|----------------------|
| <b>CRITERIO</b>                           | <b>M.C.</b> | <b>ASTM</b> | <b>AASHTO</b> | <b>TOTAL</b> | <b>RELEVANCIA[%]</b> |
| 1   | 0           | 0           | 0             | <b>0</b>     | <b>0</b>             |
| 2   | 0           | 2           | 0             | <b>2</b>     | <b>4</b>             |
| 3   | 7           | 5           | 21            | <b>33</b>    | <b>62</b>            |
| 4   | 4           | 6           | 2             | <b>12</b>    | <b>23</b>            |
| 5   | 8           | 0           | 7             | <b>15</b>    | <b>28</b>            |
| 6   | 10          |             |               | <b>10</b>    | <b>19</b>            |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>19</b>   | <b>13</b>   | <b>30</b>     |              |                      |
| <b>RELEVANCIA[%]</b>                      | <b>35,8</b> | <b>24,5</b> | <b>56,6</b>   |              |                      |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.7** Igualdad entre las normas RV y elección entre ellas.

| <b>VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD</b> |                       |                 |            |
|---|-----------------------|-----------------|------------|
| <b>IGUALDAD EN NORMAS</b>                 | <b>ELECCIÓN NORMA</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>%</b>   |
| ASTM – AASHTO                             | AASHTO                | 5               | 9,4        |
| M.C. – AASHTO                             | AASHTO                | 2               | 3,8        |
|   | M.C.                  | 12              | 22,6       |
| M.C. – ASTM                               | AASHTO                | 1               | 1,9        |
| NO  | AASHTO                | 10              | 18,9       |
|   | ASTM                  | 8               | 15,1       |
|   | M.C.                  | 5               | 9,4        |
|   | NINGUNA               | 10              | 18,9       |
| <b>TOTAL</b>                              |                       | <b>53</b>       | <b>100</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Para el M.C. se asignan los criterios 3, 4 y 5 al momento de analizar el viscosímetro rotacional de Brookfield debido a su fecha de actualización y estar considerados en la versión actual.

El orden de relevancia, en base a los ítems analizados, de cada norma es dominada por AASHTO con el 56,6%, seguido por el M.C. que está presente en el 35,8% de los casos y finalmente ASTM que alcanza el 24,5%.

El criterio 3 es el más utilizado con un 62%, del cual, se desprende que el 63,6% de las veces es elegida AASHTO.

En ningún caso se utiliza el criterio 1 que hace referencia a la actualización del clima, para la determinación de la norma

De los 72 casos en estudio, el 19% corresponde a información que no aplica en el estudio en cuestión.

Existe un 37,7% de igualdad entre las normas RV, el cual está dado por el 1,9% de M.C. – ASTM, el 9,4% de ASTM – AASHTO y el 26,4% de M.C. – AASHTO.

La igual de M.C. – AASHTO representa el 70% de las igualdades entre normas RV, y en el 85,7% de los casos la elección es el M.C.

En todos los casos que existen igualdad entre las normas, en ninguno de ellos se elige a ASTM cómo norma.

En el 62,3% de los casos no existe igualdad entre normas, el cual se compone por el 18,9% en que se elige AASHTO, el 15,1% de ASTM, 9,4% del M.C. y el 18,9% correspondiente a ninguna elección.

### 7.1.5 MEDICIÓN DE LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN

En el ANEXO E, columna 11-13 se encuentra el desglose de los datos analizados.

**Tabla 7.8** Análisis de la elección de las normas en función a criterios utilizados para la medición de la rigidez en fluencia.

| REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN |             |             |             |       |               |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------------|
| CRITERIO                   | M.C.        | ASTM        | AASHTO      | TOTAL | RELEVANCIA[%] |
| 1                          | 0           | 1           | 1           | 2     | 2             |
| 2                          | 2           | 20          | 31          | 53    | 40            |
| 3                          | 5           | 20          | 71          | 96    | 73            |
| 4                          | 2           | 9           | 5           | 16    | 12            |
| 5                          | 12          | 1           | 1           | 14    | 11            |
| <b>TOTAL</b>               | <b>21</b>   | <b>51</b>   | <b>109</b>  |       |               |
| <b>RELEVANCIA[%]</b>       | <b>15,9</b> | <b>38,6</b> | <b>82,6</b> |       |               |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.9** Igualdad entre las normas BBR y elección entre ellas..

| REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN |                |            |            |
|----------------------------|----------------|------------|------------|
| IGUALDAD EN NORMAS         | ELECCIÓN NORMA | CANTIDAD   | %          |
| ASTM – AASHTO              | AASHTO         | 44         | 33,3       |
| M.C. – AASHTO              | AASHTO         | 6          | 4,5        |
|                            | M.C.           | 14         | 10,6       |
| M.C. – ASTM                | AASHTO         | 11         | 8,3        |
|                            | ASTM           | 7          | 5,3        |
| NO                         | AASHTO         | 48         | 36,4       |
|                            | M.C.           | 2          | 1,5        |
| <b>TOTAL</b>               |                | <b>132</b> | <b>100</b> |

Debido a su fecha de actualización y estar presente en la actual versión del Manual de Carreteras, se asignan los criterios 2, 3, 4 y 5 para la rigidez en fluencia del M.C.

El criterio 3 es el más utilizado con el 73% de los casos. El cual está conformado en un 74 % de situaciones correspondientes a norma AASHTO, en 20,8% por ASTM y 5,2% al M.C.

La norma AASHTO está presente en el 82,6% de la información incluida, mientras que ASTM en 38,6% y M.C. en un 15,9%.

De los 23 ítems en que está presente el M.C en el análisis de elección de normas, 14 de ellos son igualdades con AASHTO, es decir, en el 60,9% de los casos.

La igualdad entre las normas BBR para ensayos de viga de flexión es del 56,7%, que está compuesta por el 33,3% de ASTM – AASHTO, 8,3% de M.C. – ASTM y el 15,1% de M.C. – AASHTO.

---

Cuando hay igualdad de normas, la norma AASHTO es elegida en el 81,3% de las ocasiones, mientras que el M.C. se elige el 18,7% de las veces.

Del 43,2% de los ítems que no existe similitud entre las normas del ensayo de la rigidez de viga en flexión, un 36,4% corresponde a AASHTO lo que representa el 84,2% de las situaciones.

---

## 8 PROPUESTAS DE ACTUALIZACIÓN MANUAL DE CARRETERAS

En este capítulo se presentan los cambios realizados a cada método de ensayo del Manual de Carreteras estudiado, para generar la propuesta de actualización de cada normativa. Esta propuesta se encuentra en el Anexo F.

### 8.1 MÉTODO DE ENSAYE DE PELICULA DELGADA ROTATORIA (HPDR)

De acuerdo a los resultados del análisis expuesto en la sección 7.1.1 se decide realizar la propuesta de actualización para la norma M.C. 8.302.33 como una adaptación de AASHTO T-240. En consecuencia los cambios más relevantes son los siguientes:

- **Sección 1**, Alcance y campo de aplicación:

Se elimina la aceptación del método de ensayo para ligantes no semisólidos sólo en caso de investigación,

Se incluye SI (sistema internacional) como sistema estándar y advertencias de los peligros que involucra el ensayo.

- **Sección 2**, incorpora esta sección destinada a referencias,
- **Sección 3**, Resumen

Se consideran 85 [min] como tiempo de ensayo.

- **Sección 4**, nueva sección correspondiente a relevancias y uso del ensayo.
- **Sección 5**, Aparatos:

Las modificaciones son:

- Tolerancias para las dimensiones de los aparatos y/o de su ubicación,
- Exigencia de la ubicación exacta del sensor del termoestado,

La propuesta incorpora:

- Detalle de la ubicación y calibración para el medidor de flujo,
- Revestimiento del termómetro para prevenir su rotura junto al uso de un sistema digital para aumentar la rigurosidad,
- Características para los contenedores,
- Requisitos para las balanzas de acuerdo al uso,
- Uso de la rejilla de refrigeración,
- Como opción el uso de nivel electrónico.

- **Sección 6**, Preparación del horno:

La propuesta incorpora:

- Nivelación general del horno,
- Desgaste de la viga soportante,
- Especificación del periodo en que el flujo de aire se encuentra encendido
- Condiciona que los contenedores se encuentren en el interior durante el acondicionamiento del horno.

---

▪ **Sección 7**, Procedimiento:

Considera:

- Medición de la masa de los contenedores utilizados para el cambio de masa,
- Rotación del frasco contenedor inmediatamente después de verter el ligante en su interior,
- Cuidados para obtener precisión de la medición del cambio de masa,
- Enfriamiento de los frascos horizontalmente en la rejilla de refrigeración,
- Tiempo de ensayo de 85 [min],
- Procedimiento de raspado y vertido del residuo dentro del frasco,
- Tiempo de remoción de muestra de los contenedores igual a 5 [min],
- Homogenización del residuo recolectado,
- Exigencia de notificación en caso de derrame en los contenedores.

Esta propuesta elimina:

- Tiempo límite dentro del cual se deben realizar los ensayos al residuo.
- **Sección 8**, Reporte:
- Cuidados para obtener precisión de la medición del cambio de masa.
- **Sección 9**, Precisión y sesgo:

Se incluyen criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del cambio de masa, los criterios son presentados por medio de dos tablas.

- **Agregar anexo** “Procedimiento recomendado para determinar la nivelación de los orificios del portador metálico circular”.

## 8.2 MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV)

Los cambios propuestos se presentan a continuación:

**Punto 5.2 eliminar,**

Espesor de las bandejas: (mínimo de 0,4 [mm]).

**Agregar notas 6 y 7 a continuación de nota 3 de la versión actual,**

**Nota 4:** Las bandejas de acero inoxidable más que las de aluminio, son requeridas para el PAV porque proveen un ambiente más seguro para los hidrocarburos expuestos a altas temperaturas y presiones, además no se deforman o doblan fácilmente.

**Agregar la siguiente nota a continuación de 5.5 (sistema de vacío),**

**Nota 5:** Un manómetro de vacío proporciona la diferencia de presión entre la presión atmosférica ambiental y la presión absoluta dentro del horno de vacío. A nivel del mar, donde la presión atmosférica es igual a 101,3 [kPa] (29,9 [inHg]) y con una presión absoluta dentro del horno igual a 15,0 [kPa] (4,4 [inHg]), el manómetro leerá 86,3 [kPa] (25,5 [inHg]). A una altitud de 1000 [m] (3281 [pies]) donde la presión atmosférica ambiente es 89,7 [kPa] (26,5 [inHg]), la lectura del manómetro será 26,5 [inHg] menos 4,4 [inHg] o 22,1 [inHg]. Una conversión de altitud con corrección de temperatura para la indicación relativa del manómetro es restar 0,85 [inHg] por cada 250 [m] de altitud (restar 0,52 en [Hg] por cada 500 [pies] de altitud).

---

**Agregar nota,**

**Nota 6:** En Norte América, CGA Grade D air comúnmente se refiere a OSHA breathing air. Publicación G-7.1.-1997 define el Grado D como 19,5 -23,5% de oxígeno, predominando el nitrógeno dentro del balance. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es limitado a 1000 [ppm] (v/v), el monóxido de carbono se limita a 10 [ppm] y aceite (condensado) a 5 [mg/m<sup>3</sup>].

**Punto 6.1 agregar a continuación del punto final,**

La verificación del termómetro PAV debe realizarse dentro de los 10 [°C] de la temperatura de envejecimiento.

**Agregar notas,**

**Nota 7:** Para evitar que se dañen los sensores o accesorios de los termómetros fabricados para el PAV no deben ser removidos para realizar la verificación. Una técnica adecuada de verificación consiste en 1) llevar la sonda del termómetro calibrado al sensor montado dentro del recipiente del PAV y asegurar que estén en contacto, 2) colocar la cubierta sobre la cámara, permitiendo que los conductores del termómetro salgan de la cámara bajo la cubierta sin fijarla, 3) permitir que la cámara alcance el equilibrio térmico de modo que la temperatura sea constante a  $\pm 0,1$  [°C], 4) después de alcanzar el equilibrio, registrar simultáneamente la temperatura de los dos dispositivos termométricos a intervalos de un minuto hasta que la diferencia entre las lecturas difieran a lo más en 0,1 [°C] en tres lecturas consecutivas, y 5) registrar el promedio de tres lecturas para cada dispositivo. El promedio de la diferencia de las lecturas entre los dos dispositivos es el factor de corrección a aplicar cuando se selecciona la temperatura de acondicionamiento. Anotar en la cámara a presión la temperatura de corrección y fecha de determinación. Como alternativamente, si el dispositivo termoelectrico PAV así lo permite, ajuste la calibración del dispositivo de modo tal que el indicador de temperatura y el termómetro calibrado indiquen la misma temperatura.

**Nota 8:** Si el sensor es posicionado horizontalmente, un bloque de metal aproximadamente de 25 x 25 x 25 [mm] perforado en dos caras adyacentes se utilizará para acomodar e instalar los dos sensores térmicos.

**Punto 6.2 cambiar por,****Agregar Punto 6.4 y correr numeración.**

**6.4 Nivelación.** La nivelación de las muestras es importante para los resultados del ensayo.

**6.4.1** Comprobar la nivelación del bastidor de muestras colocándolo sobre una superficie nivelada y medir en la parte superior del bastidor. Se prefiere un nivel ojo de buey. Sin embargo, se puede utilizar un nivel de precisión pequeño (aproximadamente 150 [mm]), pero la nivelación debe ser verificada en más de un plano (es decir, en ángulo recto).

**6.4.2** Verificar la nivelación del bastidor instalado en la cámara de presión, ambas deben estar a temperatura de ensayo antes de realizar la verificación. La verificación es similar a la descrita en 6.4.1 excepto que los soportes del PAV deben ser ajustados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para asegurar la nivelación.

---

**Punto 7.11,**

Temperatura determinada en 6.3 (versión actual).

**Punto 7.15 cambiar,**

Temperatura de colocación de las bandejas: 163 [°C] por “Mínima temperatura para un tiempo mínimo hasta que este lo suficientemente fluido”.

**Punto 7.17 cambiar,**

Tiempo que debe estar el recipiente dentro del horno de vacío a  $170 \pm 5$  [°C] antes de aplicar el vacío:  $10 \pm 1$  [min] por  $15 \pm 1$  [min].

**Agregar punto 7.18,**

**7.18 Corrección de la lectura del manómetro:** Un medidor de vacío unido al recipiente indica la diferencia entre la presión atmosférica y la presión en el recipiente. Si el recipiente está situado por encima del nivel del mar, la lectura del manómetro debe ser corregida para permitir que se indique la presión absoluta correcta dentro del recipiente. Esta corrección no se utiliza si la cámara está equipada con un manómetro de presión absoluta. No corrija la lectura de la temperatura ni de la presión barométrica comunicada por una estación meteorológica ya que normalmente esta presión ya está corregida.

**7.18.1** Corrija la lectura del medidor de vacío al nivel del mar usando un factor de corrección de acuerdo a la tabla 8.302.23. A. Si se utiliza un manómetro absoluto, no se necesita realizar la corrección.

**Agregar punto 7.19**

**7.19** Desde el residuo generado en la sección 17, prepare muestras directamente desde el contenedor, vierta el contenido desde el contenedor para subdividir en contenedores pequeños para ensayos futuros, o dejar los contenedores aparte para ensayos futuros.

**Agregar notas 22 - 23,**

**Nota 22:** A nivel del mar, la presión atmosférica es 29,92 [inHg], 760 [mmHg], 1,013 [kPa] o 14,7 psi.

**Nota 23:** Si aparece espuma sobre el ligante asfáltico en el borde del recipiente durante la desgasificación, reduzca la velocidad a la que se libera el vacío hasta que pare la formación de espuma.

**Agregar Tabla 8.302.23.A**

Tabla de corrección para la lectura del manómetro de acuerdo a la altura, véase Anexo G.

---

## 8.3 MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

### Punto 1.1. Cambiar:

Rango de temperatura 5 - 85 [°C] por 6 - 88 [°C] a 10 [rad/s].

### Agregar los siguientes términos en terminología:

**3.1 Acondicionamiento del ligante asfáltico:** Proceso que consiste en remover los efectos (moleculares) del endurecimiento mediante la aplicación de calor hasta que el ligante esté suficientemente fluido y pueda ser vertido fácilmente.

**3.6 Probetas de prueba:** Muestra formada de ligante asfáltico u otro polímero entre los platos del DSR, utilizada para determinar la temperatura del ligante entre los platos. La probeta de prueba es utilizada sólo para determinar la temperatura de corrección.

**3.7 Termómetro portátil:** Aparato electrónico portátil, separado del reómetro de corte dinámico, consiste en un detector (sonda que contiene una termocupla o resistencia) asociado a circuitos electrónicos, con un sistema que permite mostrar la medición.

**3.8 Termómetro de referencia:** Termómetro calibrado por NIST, de mercurio o electrónico usado en los laboratorios comunes.

**3.9 Equilibrio térmico:** Condición alcanzada cuando la temperatura de la probeta entre los platos es constante

**3.15 Calibración:** Proceso que consiste en comprobar la exactitud y precisión de un dispositivo bajo el régimen de calibración NIST junto a la realización de ajustes a los dispositivos donde sea necesario para corregir la operación, precisión y exactitud.

**3.16 Ciclo de carga:** Tiempo en el cual la probeta es cargada a una frecuencia, nivel de deformación o tensión determinada.

**3.17 Temperatura de corrección:** Diferencia de la temperatura de la probeta indicada por el DSR y el termómetro portátil inserto entre los platos.

**3.18 Verificación:** Chequeo de la precisión del dispositivo o sus componentes de acuerdo a las normas internas del laboratorio. Usualmente se realiza mientras el laboratorio se encuentra en operación.

### Punto 4.4. Agregar luego antes del punto final:

“o encerrando los platos en un ambiente térmicamente controlado o cámara de ensayo.”

### Agregar punto 6 y correr numeración:

## 6. Interferencias

**6.1** Solo es permitido material particulado inferior a 250 [ $\mu\text{m}$ ] en el ligante asfáltico, dimensiones superiores a estas son cercanas a la distancia entre los platos (Gap=1000 [ $\mu\text{m}$ ]). Para una caracterización precisa de las dos fases del material se debe cumplir que el espesor de la muestra sea al menos 4 veces más grande que el material particulado.

**6.2** El cálculo del módulo complejo a partir de la información obtenida por el DSR, depende de la precisión de la medida del diámetro de la muestra, en consecuencia el diámetro de la probeta se asume igual a la de los platos de ensayo. Esta consideración es válida solo si la muestra está cortada correctamente.

**6.3** Las propiedades físicas del ligante asfáltico son sensibles a los ensayos de temperaturas e historial térmico. Con historial térmico se hace alusión al número de veces que la muestra ha sido calentada antes de ser ensayada. Controlar la temperatura de ensayo con precisión de  $\pm 0,1$  [°C] y limitar la cantidad de veces que la muestra es calentada (se recomienda calentarla una sola vez) es esencial para obtener resultados representativos tanto dentro de un mismo laboratorio como con otros.

**Punto 6.1. (Aparatos) Agregar el siguiente párrafo como punto seguido:**

El proveedor del DSR deberá certificar que la frecuencia, ángulos de deflexión y torque, sean controlados y medidos, con precisión de 1% o menos en cada rango de medición.

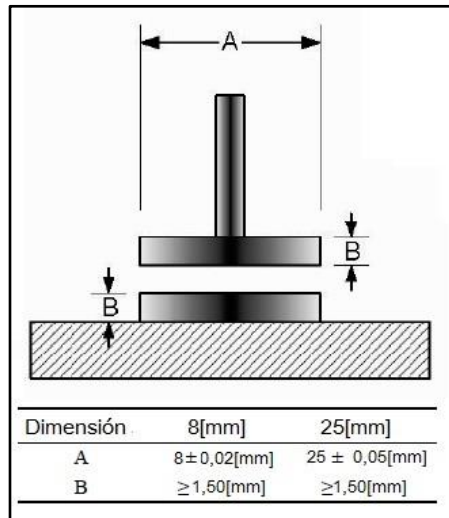
**Punto 6.1a. (platos de ensayo) Cambiar:**

7.1.1 Tolerancia del diámetro del plato de 8 [mm]:  $\pm 0,05$  [mm] por 0,02 [mm].

Relieve de 2 a 5 [mm] por  $\geq 1,5$  [mm].

Agregar como punto seguido: Los platos deben formar parte de los accesorios de ensayo que son utilizados para montar los platos en el DSR como se muestra en la Figura 1.

**Agregar figura 1**



**Figura 8.1** Dimensión de los platos [17].

**Agregar nota a continuación de la figura:**

**Nota 1:** Para obtener información correcta, los platos deben ser concéntricos entre sí, por el momento no hay un método adecuado para chequear la concentricidad, excepto observar que el centro de ambos platos estén alineados. Los platos deben girar sin moverse horizontal ni verticalmente (vaivén), esto puede ser chequeado

---

visualmente o con ayuda de un reloj comparador en contacto con el borde del plato móvil mientras esta rotando. Hay dos valores para determinar el comportamiento del sistema de medición: centricidad (movimiento horizontal) y runout (movimiento vertical). Generalmente el vaivén puede ser determinado si superior a  $\pm 0,02$  [mm]. Para un sistema nuevo, un vaivén de  $\pm 0,01$  [mm] es normal. Si el movimiento crece más de  $\pm 0,02$  [mm] con el uso, se recomienda realizar una mantención con el proveedor.

**Punto 6.1.b. (cámara ambiental) Modificar el siguiente párrafo agregando oración en cursiva:**

La temperatura en la cámara puede ser controlada por la circulación de un fluido o un gas acondicionado (agua o nitrógeno son adecuados) *o por una disposición adecuada de elementos peltier en estado sólido rodeando la muestra.*

**Agregar nota a continuación de nota 1 de la enumeración actual:**

**Nota 2:** ...La velocidad de bombeo del baño no debería ser modificada una vez que la temperatura haya sido ajustada a la deseada. Las líneas del medio deben ser inspeccionadas y limpiadas periódicamente, y remplazadas de ser necesario para evitar obstrucciones.

**Punto 6.1.b. Cambiar:**

Rango de temperatura del controlador y sensor de temperatura de 5 - 85 [°C] a 3 - 88 [°C].

**Punto 6.1.c. Cambiar por:**

**7.1.3 Dispositivo de carga:** Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una precisión de 100 [μrad] alrededor de la deformación especificada. Si la carga se aplica bajo modalidad de tensión controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 [mN·m] alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 [N·m], será menor a 2 [miliadianes/N·m]. El fabricante debe certificar que la frecuencia y tensión, son controladas y medidas con una precisión del 1 % o menor en el rango de esta medición.

**Punto 6.2. (molde de probeta)Cambiar:**

Altura del molde de la probetas: 1,5 veces la separación de los plato por mayor a 5 [mm].

**Punto 6.2. Agregar como punto seguido:**

Si el molde es un solo molde de muestra, las siguientes dimensiones han sido determinadas adecuadas: Para platos de ensayo de 25 [mm] con una separación (gap) de 1 [mm] y cavidad del molde con un fondo cóncavo de diámetro aproximado a los 18[mm] y una profundidad de al menos 2,0 [mm], para platos de ensayo de 8[mm] con 2,0 [mm] (gap) un molde de cavidad con una parte inferior cóncava de diámetro aproximado a 8 [mm] y una profundidad de al menos 2,5 [mm].

---

#### **Punto 6.4. Cambiar el siguiente párrafo:**

“Típicamente los RTD de platino no son adecuados debido a que son demasiado grandes para ajustarse a la separación o distancia de separación entre los platos del reómetro.” por “El termómetro de referencia puede ser usado para este propósito si el detector cabe dentro de la probeta de prueba.”

#### **Agregar punto (termómetro de referencia):**

**7.5 Termómetros de referencia:** Puede ser un termómetro de mercurio certificado por NIST (véase 0) o Termómetro electrónico digital NIST (véase 7.5.2). Esta temperatura estándar será utilizada para estandarizar el termómetro portátil.

**7.5.1 Termómetro de mercurio:** Certificado por NIST, con un rango entre 0 y 88[°C] y con subdivisiones de 0,1 [°C]. El termómetro será de inmersión parcial con un punto de hielo. El líquido del termómetro deberá ser verificado por lo menos una vez al año de acuerdo a *Test Method E77* y *Practice E563*.

**7.5.1.1 Dispositivo de visión óptico (opcional):** Para usar con termómetros de mercurio y mejorar la legibilidad, reduce al mínimo el error al leer el termómetro.

**6.5.2 Termómetro digital:** Un termómetro electrónico que incorpora un dispositivo termométrico o detector de resistencia con una precisión de  $\pm 0,05$  [°C] y una resolución de  $\pm 0,01$  [°C]. El termómetro deberá ser calibrado al menos una vez al año por un servicio de calibración comercial usando un patrón de referencia NIST, de acuerdo con *Test Method E644*.

#### **Agregar Punto:**

### **8. Materiales**

**Material de limpieza:** Huaipe, toalla de papel, varillas de algodón u otro material adecuado para la limpieza de los platos.

**Solventes de limpieza:** Solventes para la limpieza de los platos que no dejen residuos en la superficie.

**Nota 4:** Aceite mineral, solución de base cítrica, alcoholes minerales, tolueno, tricloro o algún solvente similar adecuado que permita la limpieza de los platos. Solventes orgánicos que no dejen residuos, como heptano, acetona o alcohol etílico.

#### **Punto 8. Cambiar:**

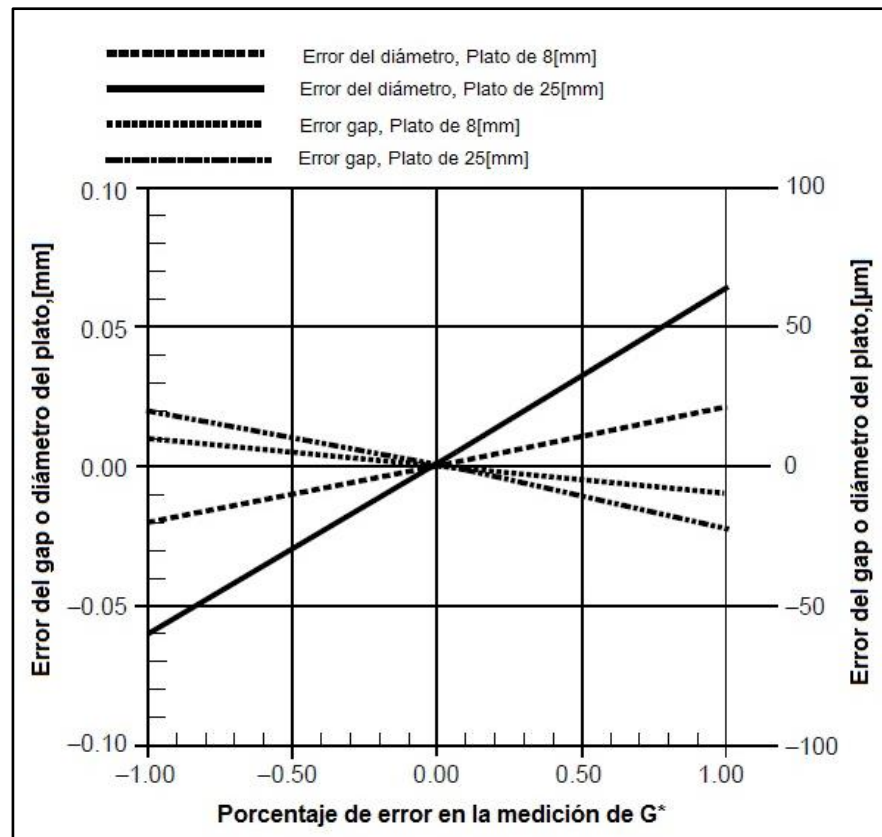
#### **Agregar luego de 8.1 (versión actual):**

**10.2** Inspeccionar la superficie de los platos de ensayo y descartar cualquier plato con los bordes redondeados, dentado y con orificios profundos. Limpiar cualquier residuo de ligante desde los platos con algún solvente orgánico como aceite mineral, alcoholes minerales, solvente de base cítrica o tolueno. Remover cualquier resto de solvente limpiando la superficie de los platos con varillas de algodón o un paño suave (huaipe) humedecido con solvente orgánico de grado reactivo como el heptano, alcohol etílico o acetona, si es necesario use una varilla de algodón seca o paño suave para asegurar que no se condense la humedad sobre los platos.

**10.3** Montar los platos de ensayo sobre las fijaciones de ensayo garantizando visualmente que los platos estén paralelos entre sí y luego ajústelos firmemente.

**10.5** Cuando son usadas varias temperaturas de ensayos el cero de ensayo debe ser fijado en la temperatura media del rango esperado de ensayo. Permita que el DSR estabilice la temperatura dentro de 0,1 [°C] de la temperatura de ensayo. Si la temperatura de ensayo difiere más de  $\pm 12$  [°C] de la temperatura de gap, reestablezca el cero gap. Fijar el cero gap cada vez que una nueva muestra es puesta en los platos.

**Nota 6:** Si el instrumento tiene una compensación térmica, el gap debe establecerse con la primera temperatura de ensayo en vez de la mitad del rango de temperatura. Es sumamente importante fijar el cero gap correctamente debido a que errores en la fijación genera errores significativos como se muestra en la Figura 8.2



**Figura 8.2** Efectos del error en la distancia inicial [17].

**Punto 8.4. (actual) agregar:**

**10.6...**o (3) con la función automática de acuerdo a los procedimientos especificados por el fabricante.

**Agregar a continuación de nota 4 actual:**

**10.8 Precaentar platos de ensayo:** Una vez establecido el cero gap de acuerdo a los métodos mencionados anteriormente (temperatura establecida), reajustarlo y volver a calentar los platos.

**10.8.1 Precaentar plato de 25 [mm]:** Llevar los platos a temperatura de ensayo o a la menor temperatura si será ensayado a más de una temperatura.

---

**10.8.2 Precalentar plato de 8 [mm]:** Llevar los platos entre 34 y 46 [°C] para precalentar el plato superior e inferior.

**Nota 8:** En función de obtener una adecuada adhesión entre el ligante y los platos de ensayo, se deberán precalentar los platos. Precalentar es crítico cuando se utiliza molde de silicona para preparar el ligante asfáltico, para ser traspasado a los platos y cuando se utilizan los platos de 8 [mm]. Cuando se utiliza el método de colocación directa, a penas los platos son puestos en contacto con el ligante, el calor que trae el asfalto aumenta la adhesión. La temperatura requerida para proveer adhesión dependerá tanto del grado como la naturaleza del ligante y temperatura de ensayo (platos de 8 y 25 [mm]). Para algunos asfaltos de grados rígidos, especialmente los altamente modificados, calentar los platos a 46 [°C] no será suficiente para asegurar la adhesión adecuada, especialmente si se utiliza molde de silicona y platos de 8 [mm].

**Punto 9.1. Cambiar por:**

**11.1** Realice los siguientes procedimientos de calibración y verificar el reómetro de corte dinámico (DSR) y sus componentes cuando el DSR, está recién instalado, se ha movido de lugar, y/o cada vez la precisión del DSR y/o cualquiera de sus componentes sea dudosa. Los cuatro componentes mencionados a continuación requieren ser verificados: diámetro del plato de ensayo, termómetro portátil, torque del transductor del DSR y la temperatura de la muestra de ensayo.

**Nota 9:** Verificar la temperatura del DSR antes que el transductor de torque.

**Agregar los siguientes ítems y notas:**

**11.2 Verificación del diámetro de los platos:** Medir el diámetro con precisión de 0,01 milímetros. Mantener el log del diámetro medido como parte del control de calidad del laboratorio, las medidas están claramente identificadas con los platos específicos, ingresar las mediciones actuales al programa para ser utilizadas en el cálculo. Si alguno de los platos difiere en el diámetro, ingrese la menor medida o ambas.

**Nota 10:** Un error de  $\pm 0,05$  [mm] en el diámetro, conlleva a un 8 % de error del módulo complejo obtenido a partir de platos de 25 [mm], al utilizar platos de 8 [mm] errores en el diámetro de  $\pm 0,01$ ,  $\pm 0,02$  y  $\pm 0,05$  [mm] generan un error del módulo de 0,5; 1,0 y 2,5 % respectivamente.

**11.3 Verificación del termómetro portátil:** Verificar el termómetro portátil (usado para medir la temperatura entre los platos) utilizando el termómetro de referencia del laboratorio. Un termómetro portátil se considerara como una combinación de un medidor (aparato de lectura) y un termisor como una sola unidad, por lo que se verificará como tal. Si el termómetro de referencia también es ocupado como termómetro portátil para medir la temperatura entre los platos, revisar los requerimientos de la sección 7.6.

**11.3.1. Procedimiento de verificación recomendado:** Instalar el termómetro de referencia en contacto con el detector del termómetro portátil y ubicarlos en un baño de agua agitado controlado térmicamente. Asegurar que el agua sea des-ionizada para prevenir la conducción eléctrica entre los electrodos de los elementos sensibles. Si esto no es posible, poner el termómetro de referencia y detector del termómetro portátil dentro de una bolsa impermeable antes de sumergirlo en el baño. Obtener medidas en intervalos de 6 [°C] en el rango del test de temperatura, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico a cada temperatura. Si las lecturas del termómetro portátil

---

y termómetro de referencia difieren en 0,1 [°C] o más, registrar la diferencia de cada temperatura como una temperatura de corrección y mantener un registro de las correcciones.

**Nota 11:** Se recomienda utilizar un baño de agua agitado, controlado a  $\pm 0,1$  [°C], tales como el baño de viscosidad utilizado para el método de prueba D2170/D2170M o D2171/ D2171M. Puede utilizarse para baños de baja temperatura, congelados o de temperatura controlada. Llevar la sonda del termómetro portátil en contacto con el termómetro de referencia y manténgalos unidos. Un disco de goma funciona bien para este propósito. Sumergir el conjunto en el baño de agua y llevarlo al equilibrio térmico. Registrar la temperatura de cada dispositivo cuando se alcanza el equilibrio térmico.

**Nota 12:** Si las mediciones de dos dispositivos difieren en 0,5 [°C] o más se debe suspender la calibración o medición del termómetro portátil y ser recalibrado o reemplazado. Cambios continuos de la temperatura de corrección también generan sospechas del termómetro.

**Punto 9.2. (temperatura de corrección de la probeta), agregar:**

**11.4 Temperatura de corrección de la probeta:** Los gradientes térmicos dentro del reómetro pueden causar diferencias entre la temperatura de la muestra y la temperatura indicada en el termómetro del DSR (también utilizado para controlar la temperatura de DSR). Cuando esas diferencias son 0,1 [°C] o superiores, determinar la temperatura de corrección usando el detector térmico montado en un disco de silicona (véase 11.4.1) o mediante una muestra de ligante asfáltico entre los platos colocando el detector del termómetro portátil dentro del ligante (véase 11.4.2).

**11.3.1 Método utilizando sello de silicona:** Coloque el disco de silicona entre los platos de 25 [mm] y ajuste la distancia inicial para poner el disco en contacto con ambos platos, de esta forma el disco de silicona estará en contacto completo con ambas superficies. Si es necesario, aplique una capa delgada de grasa de petróleo o compuestos antiadherentes (véase nota 13) para llenar cualquier espacio vacío entre el disco y los platos. El contacto completo es necesario para asegurar la transferencia de calor apropiada entre los platos y el disco de silicona (véase 11.4.2) Determinar cualquier corrección necesaria de la temperatura de acuerdo a la sección 0.

**Nota 13:** Componentes antiadherentes son comercializados con ese nombre en ferreterías y las tiendas de auto es mucho menos propenso a contaminar el agua que la grasa de petróleo.

**Nota 14:** El espesor del sello de silicona es de 2 [mm] y diámetro ligeramente más grande a 25 [mm].

**11.4.1 Método utilizando sello de silicona:** Coloque el disco de silicona entre los platos de 25 [mm] y ajuste la distancia inicial para poner el disco en contacto con ambos platos, de esta forma el disco de silicona estará en contacto completo con ambas superficies. Si es necesario, aplique una capa delgada de grasa de petróleo o compuestos antiadherentes (véase nota 13) para llenar cualquier espacio vacío entre el disco y los platos. El contacto completo es necesario para asegurar la transferencia de calor apropiada entre los platos y el disco de silicona (véase nota 14) Determinar cualquier corrección necesaria de la temperatura de acuerdo a la sección 11.4.3.

---

**Nota 13:** Componentes antiadherentes, son comercializados con ese nombre en ferreterías y tiendas de auto, son menos propensos a contaminar el agua que la grasa de petróleo.

**Nota 14:** El espesor del sello de silicona es de 2 [mm] y diámetro ligeramente más grande a 25 [mm].

**11.4.2 Método utilizando probeta de prueba:** La probeta de prueba será formada con ligante asfáltico, u otro polímero que fácilmente pueda formarse entre los platos. Colocar la probeta de prueba entre los platos e insertar el termómetro portátil en su interior, junte los platos hasta la distancia de ensayo (1 [mm] para platos de 25 [mm] y 2 [mm] para platos de 8 [mm].), mantenga el detector centrado tanto vertical como radialmente con la probeta de prueba. Calentar los platos cuanto sea necesario permitiendo que la probeta complete la distancia entre los platos (gap de ensayo). No es necesario cortar la muestra pero se debe evitar el exceso en los bordes de los platos. Realizar gráficos de control utilizando la Guía E882. Determinar cualquier corrección de la temperatura necesaria de acuerdo a la sección 11.4.3.

**Nota 15:** *Silly putty* puede dejar residuos en la superficie de los platos, por esta razón no se recomienda su uso como probeta de prueba.

**11.4.3 Determinación de temperatura de corrección:** Obtener mediciones simultáneas de la temperatura con el termómetro del DSR y portátil cada 6 [°C] hasta cubrir la gama de temperaturas de ensayo. En cada incremento de temperatura, después de que se haya alcanzado el equilibrio térmico, registrar la temperatura indicada por ambos termómetros con precisión de 0,1 [°C]. La temperatura de equilibrio se alcanza cuando la temperatura indicada por ambos termómetros no varía en más de 0,1 [°C] durante un período de cinco minutos. Obtener mediciones adicionales para incluir todo el rango de temperatura que será utilizado en la medición del módulo de corte dinámico.

**11.4.4 Gráfico de corrección de temperatura:** Usando los datos obtenidos en (Anexo G), realizar un gráfico de la diferencia entre las dos mediciones de temperatura versus la temperatura obtenida con el termómetro portátil. Esta diferencia es la temperatura de corrección debe aplicarse al controlador de temperatura del DSR para obtener la temperatura deseada en la probeta ubicada entre los platos de ensayo. Informar la temperatura de corrección conseguida desde el gráfico para cada temperatura de ensayo correspondiente, y reporte la temperatura de ensayo corregida entre los platos como temperatura de ensayo. Una alternativa, puede ser utilizar un software para anotar las temperaturas de corrección.

**Nota 16:** La diferencia entre las mediciones de temperatura puede que no sea una constante para el reómetro dado, pueden variar con las diferencia entre la temperatura del ensayo y la temperatura ambiente del laboratorio, así como con las fluctuaciones en la temperatura ambiente. La diferencia entre las dos mediciones de temperatura es causada en parte por gradientes térmicos de la probeta y accesorios.

**11.5 Verificación del DSR:** Verificar la exactitud del transductor de torque y desplazamiento angular cada vez que el DSR se instala por primera vez (véase nota 17), se traslade, cada seis meses, la temperatura offset es verificada, y/o cada vez que la exactitud de las mediciones obtenidas sea sospechosa.

---

**Nota 17:** Cuando se instala por primera vez o reacondiciona el DSR, se verificará semanalmente usando los procedimientos descritos en 11.5 hasta que se demuestre una verificación aceptable. Se recomienda guardar la información en gráficos de control donde las mediciones verificadas han sido graficadas versus la fecha de realización.

**11.5.1 Verificación del transductor de torque:** Verificar la calibración del transductor de torque con un fluido de referencia o accesorios suministrados por el fabricante cada vez que la calibración del transductor sea sospechosa y/o cuando la viscosidad dinámica medida para el fluido de referencia indique que el transductor de torque no está calibrado.

**11.5.1.1 Verificación del transductor del torque con fluido de referencia:** La viscosidad compleja medida con el DSR será menos de 3% de la viscosidad capilar según lo informado por el fabricante del fluido de referencia, de lo contrario la calibración del transductor de torque se considera sospechosa. Calcular el viscosidad compleja como el módulo complejo  $[G^*]$  dividido por la frecuencia angular en  $[\text{Rad/s}]$ . Recomendaciones para el uso del líquido de referencia se entregan en el anexo A.

$$\text{Porcentaje de variación} = \left( \frac{\eta^a - \eta^b}{\eta^a} \right) \times 100$$

*Ecuación 8 Porcentaje de variación [17]*

Donde,

$\eta^a$ : Viscosidad capilar del fluido de referencia.

$\eta^b$ : Medición de la viscosidad calculada por el módulo complejo, dividida por la frecuencia angular.

**Nota 18:** Un fluido de referencia adecuado está disponible en *Canon Instrument Company* como viscosidad estándar número N2700000SP. La viscosidad es entregada en  $[\text{MPa}\cdot\text{s}]$ . Convertir las mediciones de viscosidad a  $[\text{MPa}\cdot\text{s}]$  antes de calcular el porcentaje de variación.

**11.5.1.2 Verificación del transductor del torque y accesorios:** Verificar la calibración del transductor de torque utilizando accesorios e instrucciones suministradas por el fabricante. Es responsabilidad del fabricante proporcionar adecuadamente los accesorios que no están ampliamente disponibles. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplicará.

**11.4.2 Verificación del transductor angular de desplazamiento:** Si los accesorios suministrados por el fabricante están disponibles, verifique la calibración cada seis meses y/o cuando la calibración sea sospechosa. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplica.

**11.5.3** Si el DSR no puede ser verificado de acuerdo a 11.5 no se podrá utilizar para ensayar hasta que sea calibrado por el proveedor o algún servicio técnico calificado.

**Punto 10.1, agregar luego del primer párrafo:**

**12.1.1 Desgasificar antes de ensayar:** Si el ligante ha sido ensayando de acuerdo a T314 (DT) y acondicionado según AASHTO T240 (HPDR) y AASHTO R28 (PAV), desgasificar el ligante asfáltico como se describe en AASHTO R28 antes de ensayar. De lo contrario, la desgasificación de la muestra no es requerida.

---

**Punto 10.1.a). Agregar como punto seguido:**

12.1.2 ...Los platos no pueden ser utilizados para calentar el ligante.

**Agregar nota:**

**Nota 20:** Para muestras envejecidas en PAV, el ligante asfáltico debe introducirse en un horno de vacío acondicionado a 175 [°C] durante 40 [min]. Debido a la mala transferencia de calor en el horno de vacío, el ligante no se sobrecalienta.

**Punto 10.2 (preparación de probetas de ensayo), cambiar:**

Temperatura de la cámara de 45 [°C] a 34 – 46 [°C].

**Punto 10.2, agregar:**

**Nota 21:** Se prefieren los métodos de transferencia directa y vertido porque los resultados son menos influenciados por el endurecimiento estérico que el del molde de silicona. De la transferencia directa y vertido se obtienen temperaturas más altas del ligante cuando los platos y el ligante son puestos en contacto, lo que mejora la adherencia. Por esta razón es importante poner en contacto con prontitud las placas con el ligante.

**Punto 10.2.a). Agregar título “Vertido” y primer párrafo:**

Vertido. Este método se puede aplicar sólo a reómetros diseñados para remover los platos sin afectar la distancia inicial (gap) establecida.

**Agregar:**

**12.3.2 Transferencia directa:** Transfiera el ligante caliente a uno de los platos usando una varilla de vidrio o metal, espátula o herramienta similar. Inmediatamente después de la transferencia continúe con 12.4 para cortar la probeta y generar la protuberancia.

**Nota 23:** Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 [mm].

**Punto 10.2.b) (molde de silicona), cambiar por:**

**12.3.3 Molde de silicona:** Verter el asfalto caliente dentro de un molde de silicona para formar una píldora con las dimensiones requeridas en la sección 7.2, no cortar la superficie del ligante. Permitir que el molde se enfríe a temperatura ambiente. Tapar el molde, mientras se enfría para evitar que se contamine. La muestra puede ser montada en cualquiera de los platos. Para montarlo en el plato inferior, remover la muestra desde el molde y céntrala en el plato inferior del DSR. Para ser montado en el plato superior, centrarlo en el plato superior mientras este continúa en el molde. Presionar suavemente la muestra contra el plato superior y luego retirar con cuidado el molde dejando la muestra adherida al plato. Completar todos los ensayos dentro de 4 horas desde que fue vertida la muestra en el molde de silicona.

---

El molde llenado debe ser enfriado a temperatura ambiente colocándolo sobre una mesa con superficie plana sin enfriador. Enfriar a una temperatura inferior a la temperatura ambiente resulta un comportamiento térmico desconocida que puede afectar la medición del módulo y ángulo de fase. Enfriamiento excesivo puede generar humedad en la superficie del ligante que interfiere en la adhesión de la probeta con el plato.

**Agregar Notas,**

**Nota 25:** Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 [mm].

**Nota 26:** Algunos grados de asfaltos no pueden ser removidos desde el molde de silicona sin ser enfriados. Materiales como PG 52-34, PG 46-34, y algunos PG 58-34. Si la muestra no puede ser removida desde el molde sin ser enfriada es recomendable utilizar el método de transferencia directa.

**Agregar ítem (corte de la muestra de ensayo):**

**12.4 Corte de la muestra de ensayo:** Inmediatamente después de que la muestra haya sido retirada de los platos, separe los platos a una distancia determinada (gap) entre ellos que corresponda al gap de ensayo más el gap requerido para crear protuberancia, (véase 12.5 para este gap). Corte el exceso de asfalto moviendo la herramienta de corte calentada por alrededor del borde de los platos de tal forma que el ligante asfáltico se nivele con el diámetro exterior de los platos.

**Nota 27:** La herramienta de corte debe estar a una temperatura que sea suficientemente elevada para permitir el corte, pero no excesivamente para quemar el borde de la probeta. Tampoco puede estar excesivamente fría para enganchar o dañar los bordes de la probeta.

**Punto 10.3.b), cambiar por:**

**12.5 Creación de la protuberancia:** Luego de realizar el corte, disminuir el gap en la cuantía necesaria para formar una ligera protuberancia en la cara exterior de la muestra. La distancia necesaria para crear una protuberancia en el reómetro específico depende de factores tales como, el diseño del reómetro y la diferencia entre temperatura de corte y de ensayo. Una recomendación práctica para verificar la reducción de la distancia requerida para formarla está dada en ANEXO D. Los valores comunes de distancia son 0,05 [mm] para el plato de 25 [mm] y 0,10 [mm] para el plato de 8 [mm].

**Cambiar nota 10 por:**

**Nota 28:** El módulo complejo es calculado considerando que el diámetro de la muestra es igual al diámetro del plato. Si el ligante forma una superficie cóncava en los bordes exteriores, esta consideración no es válida y el módulo de corte será subestimado. El cálculo del módulo de corte está basado en el radio del plato elevado a la cuarta potencia. Se recomienda una protuberancia aproximadamente igual a la

cuarta parte de la distancia. Un procedimiento para determinar la distancia requerida para formar un gap aceptable se da en el anexo D.

**Agregar 13.4.g) (informe),**

**15.4.7**  $G^*/\sin(\delta)$ , con precisión de 0,01 [kPa] o  $G^*$  sin  $(\delta)$  aproximado al entero.

**Cambiar Tabla 8.302.22.D**

**Tabla 8.1** TABLA 8.302.22.D de Precisiones estimadas [17].

| Condición   | Desviación Estándar (1s) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>1</sup> |
|---|---------------------------------------|---|
| Precisión de un mismo operador:   |                                       |   |
| Ligante original: $G^*/\sin(\delta)$ [kPa]                                | 2,3                                   | 6,4   |
| Residuo RTFO: $G^*/\sin(\delta)$ [kPa]                                    | 3,2                                   | 9,0   |
| Residuo PAV: $G^* \sin(\delta)$ [kPa]                                     | 4,9                                   | 13,8  |
| Precisión Multilaboratorio:   |                                       |   |
| Ligante original: $G^*/\sin(\delta)$ [kPa]                                | 6,0                                   | 17,0  |
| Residuo RTFO: $G^*/\sin(\delta)$ [kPa]                                    | 7,8                                   | 22,2  |
| Residuo PAV: $G^* \sin(\delta)$ [kPa]                                     | 14,2                                  | 40,2  |
| Estos valores representados el 1s% y 2s% descritos en Práctica ASTM C670. |                                       |   |

**Nota 32:** Las precisiones estimadas en la Tabla 8.302.22.D están basadas en un análisis de resultados de ensayos a 8 pares de muestras competentes AMRL. La información analizada consiste en resultados de 185 a 208 laboratorios para cada 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante: PG 52 - 34, PG 64 - 16, PG 64 - 22, PG 70 - 22, y PG 76 - 22 (SBS modificado). El promedio original obtenido para  $G^*/\sin(\delta)$  es desde 1,067 [kPa] a 2,342 [kPa]. Promedio de los resultados del residuo del RTFO para  $G^*/\sin(\delta)$  va desde 2,274 [kPa] a 7,733 [kPa]. Promedio proveniente de los resultados obtenidos del residuo del PAV para  $G^*/\sin(\delta)$  van desde 110 [kPa] a 4557 [kPa]. Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3.

**ANEXO B. Agregar y cambiar numeración siguiente:**

**Agregar:**

**En B.1,** como punto seguido, Ej, 52, 58, 64, 70, 76 o 82 [°C]. La determinación está basada en el cambio del módulo complejo de corte a 10 [rad/s] cuando la deformación aumenta desde 2 a 12%.

**B.2.3** Preparar la muestra para ser ensayada en los platos de 25 [mm] como en la sección 12. Seleccionar la temperatura de ensayo de grado mayor para el ligante en cuestión.

**B.2.4** Determinar el módulo complejo de corte a 2 y 12% de deformación siguiendo los procedimientos descritos en la sección 14 excepto las descritas debajo. Siempre comenzar con la menor deformación a la mayor.

**ANEXO A1.2.2.a) y b), cambiar:**

B.3 Deformación final: de 30% a 12%.

**B.4. Para reómetro de tensión controlada:** Calcule la tensión inicial basada en el módulo complejo de corte,  $G^*$  y esfuerzo de corte  $\tau$ , determinada a la temperatura mayor del grado de la clasificación del ligante. A esta temperatura,  $G^*$  será  $\geq 1.00$  [kPa]

y el esfuerzo de corte  $\tau$ , estará entre 0,09 y 0,15 [kPa] (véase tabla 8.302.22.C). Calcular la tensión inicial como  $\tau/(6,00[kPa])$ , ir aumentando la tensión cada 5 veces  $\tau/(6,00[kPa])$ .

**Nota A1.2. Cambiar por:**

**Nota B1.1:** Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64 - 22, con  $G^*=1,290$  a 64 [°C] y  $\tau=0,135$  [kPa]. Tensión inicial =  $0,135 [kPa]/6 = 0,225 [kPa]$ . Ensayar a 0,225; 0,450; 0,675; 0,900; 1,13 y 1,35 [kPa].

**Agregar los siguientes ítems:**

**B.5. Gráfico de módulo complejo vs deformación:** Prepare el gráfico del módulo complejo de corte versus el porcentaje de deformación que muestra Fig. 5, determine el módulo complejo de corte a 2 y 12% de la deformación.

**B.6. Cálculos:**

**B.6.1** Calcular la razón del módulo como el módulo complejo de corte al 12% de tensión dividido por el módulo complejo de corte a 2% de la deformación.

**B.7. Informe lo siguiente:**

**B.7.1** Módulo de corte complejo ( $G^*$ ) con tres cifras significativas.

**B.7.2** Deformación, aproximada al 0,1%.

**B.7.3** Frecuencia, aproximada a 0,1 [rad/s].

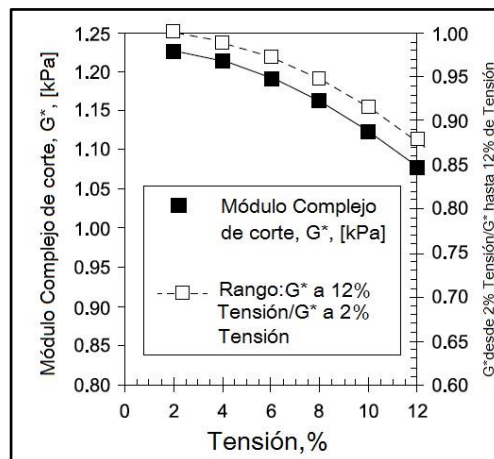
**B.7.4** Razón entre el módulo a 12% de deformación con el modulo al 2%.

**B.8 Interpretación de resultados:**

**B.8.1** Las mediciones han sido realizadas en un rango no lineal del material, si la razón del módulo es calculada como en B.6.1 es  $< 0,9$  y lineal si es  $\geq 0,9$ . Calcule  $0,9 G^*$  al nivel de deformación mínimo de 2%. Si la medición fue realizada en el rango no lineal del material, los resultados obtenidos bajo este método será considerado como inválido para aplicar especificación de ligante de acuerdo a 8.301.8.

**Agregar figura, ejemplo de barrido de la tensión:**

**Fig. 5,**



**Figura 8.3** Ejemplo de barrido de la tensión [17].

**Agregar ANEXO A,** Uso del fluido de referencia (véase anexo J/Pág.232).

**Agregar ANEXO C,** Gráficos de control (véase anexo J/Pág.236).

---

**Agregar ANEXO D**, Selección de la distancia inicial (gap) para obtener una protuberancia (véase anexo J/Pág.239).

**Agregar ANEXO E**, Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico (véase anexo J/Pág.241).

**Agregar ANEXO F**, Ejemplo de reporte (véase anexo J/Pág.241).

## **8.4 MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD (RV)**

### **Agregar punto 1.4:**

**1.4** Los valores indicados en unidades SI o unidades pulgadas-libras deben considerarse por separado como estándar. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes. Por lo tanto, cada sistema se utilizará independiente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad.

### **Punto 3. A continuación de 3.1 agregar:**

**3.2 Asfalto con polvo mineral:** Mezcla de asfalto que contiene partículas finas de materia mineral insoluble.

**3.3 Líquido newtoniano:** Líquido para el cual la tasa de corte es proporcional a la tensión de corte. La relación constante de la tensión y velocidad de corte es la viscosidad del líquido. La viscosidad de un líquido newtoniano, por tanto, no depende de su velocidad de corte. Si la relación no es constante, el líquido es no newtoniano. Muchos de los líquidos presentan un comportamiento tanto newtoniano y no newtoniano, dependiendo de la velocidad de corte, temperatura, o ambos.

**3.4 Velocidad de corte:** Medida de la velocidad a la cual las capas intermedias del líquido se mueven con respecto a las otras. Su unidad de medida es  $[s^{-1}]$ .

**3.5 Esfuerzo de corte:** Fuerza por unidad de área requerida para producir el corte. Su unidad de medida en SI es el Pascal, y en CGS es  $[dina/cm^2]$ .

**3.6 Vástago o Spindles:** Parte del equipo que se introduce en la muestra de asfalto, la medición del vástago a utilizar, junto con la resistencia rotacional del torque, se utilizan para calcular la viscosidad aparente. Este aparato puede ser referido por el fabricante como spindles, cilindro concéntrico interior, paleta, y entre otros.

### **Punto 5.3. Cambiar:**

Rango de temperatura del controlador desde  $65 - 165 \pm 0,1 [^{\circ}C]$  o mayores por  $60 - 165 \pm 0,1 [^{\circ}C]$ .

### **Punto 5.4. Cambiar:**

Temperatura que debe ser capaz del horno de mantener desde  $60$  a  $212 \pm 3 [^{\circ}C]$  por desde temperatura ambiente a  $260 \pm 3 [^{\circ}C]$ .

---

**Punto 6.2. Cambiar método de chequeo controlador:**

“Colocando una muestra de asfalto dentro de la cámara hasta encontrar el equilibrio térmico a una temperatura previamente determinada.

**Agregar Punto 7 y reenumerar:****7. Preparación del equipo**

7.1 El viscosímetro rotacional debe ser nivelado para funcionar apropiadamente. Generalmente se encuentra un nivel de burbuja en la superficie del viscosímetro y es ajustado mediante tornillos ubicados en la base. Si el controlador del torque y la cámara ambiental son elementos separados, ambos deben ser nivelados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

**Punto 8.12. Cambiar:**

“Tres lecturas a intervalos de 3 [min].” por “Tres lecturas a intervalos de 1 [min].”

**Punto 10.1. Agregar tabla y las siguientes notas:**

**Tabla 8.2** Precisiones estimadas [19]

| Condición   | Desviación Estándar (1s) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>1</sup> |
|---|---------------------------------------|---|
| Precisión de un mismo operador:                                       |                                       |   |
| Viscosidad promedio [Pa·s]  | 1,2                                   | 3,5   |
| Precisión Multilaboratorio:   |                                       |   |
| Viscosidad promedio [Pa·s]  | 4,3                                   | 12,1  |
| Estos valores representan la 1s% y 2s% limite descritos en ASTM C670. |                                       |   |

**Nota 4:** Las precisiones estimadas dadas en la tabla 98.302.24. A están basadas en un análisis de resultados de ensayos desde 8 pares de AMRL ejemplos competentes. La información analizada consiste en resultados de 142 a 202 laboratorios para cada 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante: PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22, y PG 76-22 (SBS modificado). El rango promedio para viscosidad de ligantes originales obtenido fue de 0,272 a 0,719 [Pa·s]. Para asfaltos modificados va desde 1,621 a 1,638 [Pa·s]. Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3.

**Nota 5:** Como ejemplo, dos ensayos llevados a cabo con el mismo material con resultados de viscosidad de 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s], respectivamente. El promedio de estos dos resultados es 0,505 [Pa·s]. El rango de aceptabilidad de los resultados es de 3,5 % de 0,505 [Pa·s] o 0,018 [Pa·s]. Como la diferencia entre 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s] es menor que 0,018 [Pa·s], los resultados están dentro del rango aceptable.

**8.5 MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN (BBR)****Punto 1.1. Cambiar:**

Rango de temperatura de operación del equipo, “-36 a 22 [°C]” por “-36 a 0 [°C]”.

---

**Punto 3.3. Cambiar:**

“Creep” por “fluencia” (se debe realizar en 3 ocasiones).

**Punto 3.4. Cambiar título:**

“Rigidez flexural en creep” por “Rigidez en fluencia por flexión”.

**Punto 3.4. Incorporar a continuación del punto final:**

La rigidez en fluencia se puede estimar por ajuste de un polinomio de segundo orden, para el logaritmo de la rigidez medida a 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240,0 [s] y el logaritmo de tiempo.

**Agregar punto 3.11:**

**3.11 Lectura de la carga inicial:** Carga indicada por el dispositivo, cuando el vástago se encuentra flotando libremente en el baño líquido en la posición que queda cuando se realiza el primer contacto con la probeta de ensayo.

**Agregar ítem de interferencias luego del punto 5:****6. Interferencias**

**6.1** Deflexiones mayores a 4,0 [mm] en el punto medio de la probeta son sospechosas debido a que exceden la respuesta lineal del ligante asfáltico.

**6.2** Deflexiones menores a 0,08 [mm] en el punto medio de la probeta son sospechosas. Cuando esto sucede puede ser que la resolución del sistema no sea suficiente para entregar resultados fiables.

**Punto 6.1.a (apoyos para la viga):**

**Cambiar:** La tolerancia de la superficie curva de los apoyos de la viga de 0,25 a 0,3 [mm] (véase E18).

**Agregar:** Información adicional respecto a la distancia entre los soportes y las dimensiones de ellos.

**Quedando dentro de la norma de la forma siguiente:**

**7.1.1.3 Apoyos para la viga:** Apoyos transversales para la viga de asfalto, consisten en una base y un soporte horizontal con una superficie superior curva de radio  $3,0 \pm 0,3$  [mm] y costados inclinados en un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal (véase Lámina 8.302.25.A). Los apoyos, hechos de acero inoxidable (u otro material resistente a la corrosión), deben estar separados  $102,0 \pm 1$  [mm] entre sí.

La distancia entre los soportes se medirá con una precisión de  $\pm 0,3$  [mm] y la distancia exacta deberá ser usada para los cálculos de la Anexo B. Los soportes estarán dimensionadas para asegurar que la muestra de prueba permanece en contacto con la parte redondeada del soporte durante todo el ensayo (véase Lámina 8.302.25.A).

El ancho útil del soporte será de  $9,5 \pm 0,25$  [mm]. Esto se requiere para asegurar que los bordes de la viga, resultantes del proceso de moldeado, no interfieran con la medición de la deflexión durante el ensayo. Además, los apoyos deben incluir chavetas de alineamiento de 2 a 4 [mm] de diámetro, a  $6,75 \pm 0,25$  [mm] desde el centro de los

---

apoyos. Las chavetas deben ser colocadas sobre el lado posterior de los apoyos para alinear la probeta en el centro de dichos apoyos. Ver detalles en Lámina 8.302.25.A.

**Punto 6.1.a. Cambiar:**

Cambiar la tolerancia a la cual la presión de aire debe permanecer constante de “ $\pm 5$  [mN]” por “ $\pm 50$  [mN]” (véase E17).

**Punto 6.1.b. Cambiar:**

Temperatura del baño líquido: “ $-36$  [°C] a  $22$  [°C]” por “ $-36$  [°C] a  $0$  [°C]” (véase E24).

**Punto 6.2 Cambiar,**

Rango de temperatura que el transductor de temperatura debe ser capaz de leer de “ $-36$  [°C] a  $22$  [°C]” por “ $-36$  [°C] a  $0$  [°C]” (véase E27).

7.1.2 “La colocación de una probeta fría en el baño puede causar que la temperatura del baño con una precisión de  $\pm 0,2$  [°C] de la temperatura de ensaye requerida” por “La colocación de una probeta fría en el baño puede causar una fluctuación de la temperatura en  $\pm 0,2$  [°C] de la determinada para el ensayo bajo condiciones isotérmicas.”

**Punto 6.3 Cambiar:**

Tolerancia largo del molde “ $127 \pm 2$  [mm]” por “ $127 \pm 5$  [mm]” (véase E28).

**Punto 6.4. Cambiar:**

Tolerancia de las dimensiones de la probeta para el sistema de medición de deformación (véase E 34)

Tolerancias para viga utilizada al comparar periódicamente el desempeño (véase E36).

Cambiar la precisión para el espesor y ancho de la probeta para comprobar periódicamente el desempeño (véase E38).

Quedando como,

**7.4.1 Vigas de acero inoxidable (gruesa):** Para el sistema de medición de deformación y calibración de la celda de carga, una viga de acero inoxidable de  $6,4 \pm 0,10$  [mm] de espesor por  $12,7 \pm 0,25$  [mm] de ancho y  $127 \pm 5,0$  [mm] de largo para el sistema de medición de deformación.

**7.4.2 Vigas de acero inoxidable (delgada):** Para comprobar periódicamente el desempeño del BBR se utiliza una viga de acero inoxidable de  $1,3 \pm 0,3$  [mm] de espesor por  $12,7 \pm 0,1$  [mm] de ancho, medidos al  $\pm 0,01$  [mm], por  $127 \pm 5,0$  [mm] de largo medidos al  $\pm 1$  [mm], con módulo elástico conocido y con tres cifras significativas (especificado por el fabricante). El fabricante medirá e informará el espesor con una precisión de  $\pm 0,01$  [mm] y el ancho con  $0,05$  [mm]. Las dimensiones de la viga será utilizada para calcular el módulo de la viga durante la comprobación general del sistema. Véase la sección 11.2.1.

---

### **Punto 6.5 Cambiar a:**

**7.5 Masas estándares:** Una o más masas estándares son requeridas, detalladas a continuación:

**7.5.1 Verificación de la calibración de la celda de carga:** Una o más masas que sumen  $100 \pm 0,2$  [g] y dos masas de  $2 \pm 0,2$  [g] cada una (véase 0) para verificar la calibración de la celda de carga.

**Nota 4:** Se puede utilizar cualquier objeto adecuado si se confirma que su masa corresponde a  $2 \pm 0,2$  [g].

**7.5.2 Calibración celda de carga:** Cuatro masas, cada una de masa conocida  $\pm 0,2$  [g] e igualmente espaciadas en masa por encima del rango de la celda de carga.

**7.5.3 Chequeo cotidiano del sistema global:** Dos o más masas, cada una de masa conocida de 0,2 [g], para realizar el chequeo global del sistema como lo especifica el fabricante.

**7.5.4 Exactitud de las masas:** La exactitud indicada en esta sección debe ser verificada por lo menos una vez cada tres años.

### **Punto 6.6. Agregar como último párrafo de termómetro calibrado:**

“Estos termómetros deben ser calibrados una vez al año de acuerdo a ASTM E77.”

### **Agregar en aparatos,**

**7.8 Dispositivo de alineación (opcional):** Accesorio suministrado por el fabricante para fijar el eje del vástago de carga, para que la carga sea aplicada en el centro transversal y longitudinal de la viga de ensayo.

### **Punto 7.1 Cambiar:**

“Láminas plásticas” por “Láminas plásticas para moldes metálicos”,

Espesor de “0,08 - 0,15 [mm]” por espesor de “ $0,12 \pm 0,04$  [mm]”.

### **Punto 7.3.Cambiar:**

“20% en peso de glicerina y 80 % de talco” por “50% de glicerina y por 50% talco”.

### **Punto 7.4. Agregar:**

Isopropanol estabilizado como fluido para el baño líquido.

“Se considera que fluidos como el etanol, el metanol, isopropanol estabilizado y mezclas de glicol metanol”.

Fluidos de silicona o mezclas que contengan silicona no podrán ser utilizadas.

### **Agregar punto 9:**

## **9. Peligros**

**9.1** Se debe observar los procedimientos de seguridad estandarizados para la manipulación del ligante asfáltico y preparación de las probetas de prueba.

**9.2** Los baños de alcohol son inflamables y tóxicos. Coloque el controlador de temperatura del baño en un área ventilada y lejos de fuentes de inflamación. Evitar la inhalación del vapor de alcohol, y el contacto del fluido con la piel.

---

**9.3** El contacto entre el líquido del baño a bajas temperaturas con la piel puede causar quemaduras.

**Punto 9.1.a. (verificación del transductor de desplazamiento), Agregar:**

Con el marco de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, sacar todas las vigas de los soportes.

Aplicar una masa  $100 \pm 0,2$  [g] al eje de carga.

Comparar las mediciones indicadas por el sistema de adquisición de datos y las dimensiones conocidas del calibrador de espesor escalonado.

**11.1.1 Verificación del transductor de desplazamiento:** Cada día verifique la calibración del transductor de desplazamiento usando un calibrador de espesor escalonado, de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la lámina 8.302.25.C. Con el marco de carga montado en el baño líquido a la temperatura de ensayo, remover todas las vigas de los soportes y colocar el calibrador de espesor escalonado a los pies del vástago de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Aplicar una masa  $100 \pm 0,2$  [g] al vástago de carga y mida la elevación de los escalones con el transductor de desplazamiento. Comparar las mediciones indicadas por el sistema de adquisición de datos con la dimensión conocida del calibrador de espesor escalonado. Si las mediciones varían más de  $\pm 5$  [μm] con respecto a las dimensiones especificadas por el fabricante, se requerirá una mantención o calibración adicional. Informe la constante de calibración [μm/bit] para el transductor de desplazamiento con 3 cifras significativas. Las constantes de calibración deben ser repetibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será sospechosa.

**Punto 9.1.b. Cambiar:**

Cambiar espesor viga de 6,35 [mm] por 6,4 [mm].

**11.1.2 Verificación del contacto de la celda de carga:**

**11.1.2.1 Carga de contacto:** Diariamente, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de contacto. Colocar la viga de acero inoxidable (viga del sistema de medición de deformabilidad) de 6,4 [mm] de espesor (sección 7.4.1) sobre los apoyos. Aplicar una carga de  $20 \pm 10$  [mN] a la viga y utilizar para ello el regulador de presión para la carga cero. Agregar la masa de  $2,0 \pm 0,2$  [g] a la plataforma de carga especificado en la sección 7.5.1. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser  $20 \pm 5$  [mN]. Si el aumento en la carga no es de  $20 \pm 5$  [mN], se requiere una calibración. Si no se pueden reunir los requisitos para la carga de contacto después de la calibración, discontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.

**11.1.2.2 Carga de ensayo:** Cada día, antes de realizar el ensayo, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de carga de ensayo. Colocar la viga de acero inoxidable (para desplazamiento) de 6,4 [mm] de espesor (sección 7.4.1) en los apoyos. Utilizar la carga cero regulada (carga de contacto) para aplicar la carga de  $20 \pm 10$  [mN] a la viga. Agregar una masa de 100 [g] a la plataforma de carga. El aumento de carga desplegada por el sistema de adquisición de datos debe ser de  $981 \pm 5$  [mN]. De lo contrario, calibrar la celda de carga. Si los requisitos para la carga de ensayo no se pueden cumplir después de la calibración, se debe discontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.

---

### **Punto 9.3. Agregar a continuación del primer punto seguido:**

Siguiendo las recomendaciones del fabricante se coloca la viga en los soportes y aplica una masa inicial de 50,0 o 100,0 ± 0,2 [g] (491 o 981 ± 2 [mN]) a la viga. Asegurar que la viga se asiente completamente en los apoyos. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar una segunda carga adicional de 100,0 a 300,0 ± 0,2 [g] a la viga.

El módulo elástico de la viga se expresa con tres cifras significativas.

### **Agregar Punto 11.2 en estandarización:**

**11.2 Operación libre del sistema de presión de aire:** En cada día de prueba se debe verificar antes de realizar el ensayo si el sistema de presión de aire se encuentra operando libremente y libre de fricción. Las Secciones 11.1.4.1 y 11.1.4.2 se usaran para verificar que el shaft está libre de fricción. Si los requisitos de estas secciones no se cumplen, existe fricción en la presión de aire. Limpiar el shaft y ajustar el espacio libre en el transductor según las instrucciones del fabricante. Si esto no elimina la fricción, discontinuar el uso del BBR y consultar al fabricante.

**Nota 6:** La fricción puede ser causada por un ajuste deficiente, el cual deja un desplazamiento en el centro del transductor, que permite una acumulación de ligante asfáltico en el eje de carga, junto al aceite u otras partículas que son llevadas por el aire, entre otras causas.

**11.2.1** Se coloca la viga delgada de acero, utilizada para el cero regulador de carga, en los apoyos de la muestra, y aplicar una carga de 35 ± 10 [mN]. Se observa la lectura del LVDT como es indicado en el sistema de adquisición de datos. Agarrar suavemente el vástago y levantarlo aproximadamente 5 [mm] observando la lectura del LVDT. Cuando el vástago se suelta, inmediatamente debe sufrir un leve desplazamiento y hacer el contacto con la viga.

**11.2.2** Remover cualquier viga de los apoyos. Se usa el cero el regulador de carga para ajustar el vástago de carga hasta que se esté desplazando libremente aproximadamente en el punto medio de sus eje vertical. Suavemente se adicionan 2 [g] de masa al estante cargante. El vástago debe descender suavemente bajo la masa.

### **Agregar Punto 11.4**

**11.4 Alineación eje de carga:** Cada seis meses, se debe verificar la alineación del vástago de carga con el centro de la muestra apoyada con un calibrador de alineación proporcionado por el fabricante o por la siguiente medición: Se corta una tira de papel blanco de aproximadamente 25 [mm] de longitud y ligeramente más estrecha que la viga de deformación. Se pega la tira de papel al centro de la viga de deformación con cinta adhesiva. Sacar el marco de carga desde el baño, colocar la viga de calibración en los apoyos y luego un pedazo pequeño de papel calco sobre la hoja blanca. Aplicando aire a presión al soporte, empujar el vástago hacia abajo causando la impresión del papel calco en el papel blanco. Remueva la viga y mida la distancia desde el centro de la impresión a cada borde de la viga con un micrómetro. La diferencia entre las dos medidas debe ser 1,0 [mm] o menor. Si este requisito no se cumple, contactar al fabricante del dispositivo.

### **Punto 10.1 Modificar como:**

**12.1 Para preparar los moldes de acero inoxidable:** Eliminar los depósitos de ligante asfáltico, grasa u otros residuos de los moldes. Realizar una inspección visual

---

de los componentes del molde metálico para verificar que estén libres de abolladuras, cortes o esquirlas que afecten la separación de las placas laterales y rechazar aquellos componentes con tales golpes, cortes y esquirlas. Extienda una capa muy delgada de grasa (basada en petróleo), sólo lo suficiente para sostener el plástico al molde, sobre las caras interiores de las tres piezas más largas del molde de aluminio (Las tiras que se han deformado por el calentamiento previo no se utilizarán). Coloque las láminas plásticas sobre las caras de las piezas de aluminio y frote el plástico con la presión firme del dedo. Ensamble el molde como lo muestra la Lámina 8.302.25.B, usando los anillos de goma, tipo ligas, para sostener las piezas del molde juntas. Inspeccione el molde y presione la película plástica contra el aluminio para expulsar cualquier burbuja de aire. Si persisten burbujas de aire, desarme el molde y reaplique grasa sobre las caras de aluminio. Cubra las caras interiores de las dos piezas extremas con una película delgada de glicerol y talco, para prevenir que el ligante asfáltico se adhiera. Una vez ensamblados los moldes, almacénelos a temperatura ambiente.

**Agregar punto luego de 10.3 y continuar con la numeración:**

**12.4** Caliente el material en un horno a la mínima temperatura y por el menor tiempo que permita alcanzar una fluidez suficiente para ser vertido.

**Punto 10.4. Cambiar:**

**12.5** “Moldeo” por “Llenado de moldes metálicos”

**Punto 10.6. Cambiar:**

**12.7** Baño de hielo a  $-5 \pm 5$  [°C] por  $-5 \pm 7$  [°C].

**Cambiar nota 8 por:**

**Nota 11:** Minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. Para evitar la distorsión de la muestra, desmoldar la probeta deslizando las tiras de plástico y piezas laterales de metal desde el conjunto de molde y suavemente quitar las tiras de plástico de la muestra de ensayo. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real.

**Cambiar punto 11.2 por:**

**13.2 Chequear la carga de** contacto y ensayo: Chequear el ajuste de la carga de contacto y carga de ensayo con anterioridad al ensayo para cada juego de probetas. Se usará la viga de acero inoxidable de espesor 6,35 [mm] para chequear las cargas.

**Nota 13:** No realice esta verificación con una viga más delgada o una probeta.

**13.2.1** Colocar la viga de acero más gruesa en la posición de la viga. Usando válvula reguladora de la carga de ensayo, suavemente suba la fuerza aplicada hasta  $980 \pm 50$  [mN].

**13.2.2** Cambiar la carga de prueba a la carga de contacto y se ajusta la fuerza en la viga a  $35 \pm 10$  [mN]. Cambiar la carga de prueba y la de contacto cuatro veces

**13.2.3** Cuando se esté cambiando entre la carga de prueba y la carga de contacto, se debe mirar el eje y la plataforma de carga para ver el movimiento vertical. El eje de carga deberá mantener el contacto con la viga de acero durante el cambio entre las

carga de contacto y de la carga de prueba, mientras se mantienen estas cargas a  $35 \pm 10$ [mN] y  $980 \pm 50$ [mN], respectivamente.

**13.2.4 Acción correctiva.** Si los requisitos de las Secciones 11.2.1 a 11.2.3 no se reúnen, los dispositivos pueden requerir calibración según recomendaciones del fabricante o porque el eje de carga puede estar sucio o desalineado (ver sección 9.1.2). Si los requisitos de las Secciones 11.2.1 a 11.2.3 no pueden ser cumplidos después de la calibración, de la limpieza, o de otra acción correctiva, se debe descartar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.

**Punto 11.4, Cambiar:**

**13.4** Manualmente aplique una carga de contacto de  $35 \pm 10$  [mN] a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga, el vástago de carga, por no más de 10 segundos. La carga de contacto determinada es requerida para asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, soportes y probeta. La falta de contacto continuo dentro del rango requerido entrega datos engañosos. La carga de contacto se aplicará suavemente aumentando la carga hasta  $35 \pm 10$  [mN]. Durante la aplicación de la carga de contacto, la carga de la viga no debe exceder los 45 [mN], y el tiempo de aplicación y ajuste de la carga de contacto no debe ser superior a 10 [s].

**Nota 10, eliminarla.**

**Punto 11.5.e. Agregar:**

**13.6.5** Si la viga no retorna a  $35 \pm 10$ [mN], la prueba no es válida y los reómetros deben ser recalibrados.

**Tabla 8.302.25.A. Cambiar por:**

**Tabla 8.3** Precisión estimada (M.C. Tabla 8.302.25.A) [21]

| Condición  | Coefficiente de variación (1s %) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s %) <sup>1</sup> |
|--|---|---|
| Precisión de un mismo operador:  |   |   |
| Rigidez en fluencia [MPa]  | 2,5   | 7,2   |
| Valor-m  | 1   | 2,9   |
| Precisión Multilaboratorio:  |   |   |
| Rigidez en fluencia [MPa]  | 6,3   | 17,8  |
| Valor-m  | 2,4   | 6,8   |
| Estos valores representan los límites 1s% yd2s% descritos en la especificación ASTM C670 |   |   |

**Agregar Nota 17:**

**Nota 17:** Consiste en los resultados de 174 a 196 laboratorios para cada uno de los 8 pares de ejemplos. El análisis incluye 5 grados de ligante PG 52-34, PG 64-16, PG 64- 22, PG 70-22 y PG 76-22(SBS modificado). El promedio de la rigidez en fluencia resultante va desde 125,4 [MPa] a 236,8 [MPa]. El promedio de la pendiente resulta en un rango del valor-m de 0,308 a 0,374. El detalle de este análisis se encuentra en reporte de *NCHRP Project No. 9-26, phase 3*.

**Agregar ANEXO A.1 a A.4:**

**A1.1** Calibración del transductor de desplazamiento

**A1.2** Calibración de la celda de carga

**A1.3** Calibración del transductor de temperatura.

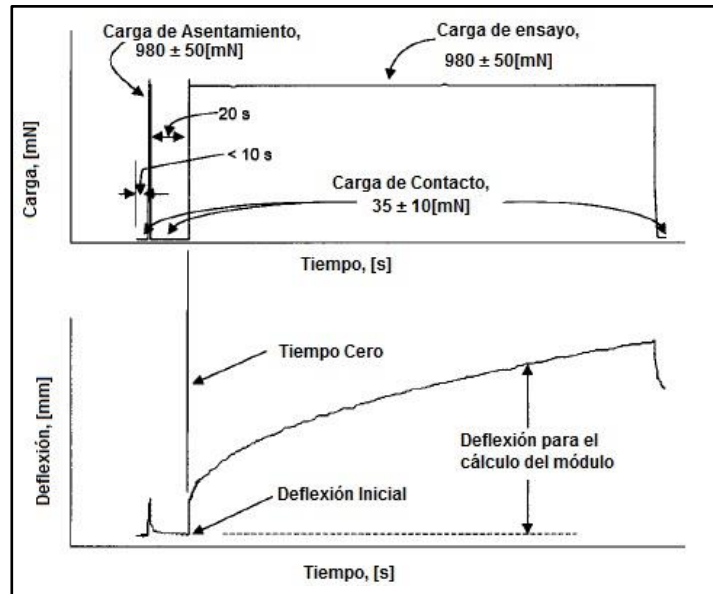
**A1.4** Determinación de la deformación del sistema.

**Punto A1.2.Cambiar:**

Fórmula para la Tensión de flexión " $\sigma = 3PL/2bh$  por  $\sigma = 3PL/2bh^2$

**Cambiar 8.302.25.A1.B por:**

Lámina 8.302.25.F



**Figura 8.4** Patrón de aplicación de la carga [22].

---

## 9 CONCLUSIÓN

De las cinco metodologías estudiadas, se obtiene que un 88,3% de las diferencias encontradas, se escoge una normativa diferente a la regida en Chile. Por lo tanto, se requiere una actualización de las normas Superpave para ligantes asfálticos del Manual de Carreteras.

M.C. y AASHTO son métodos realizados específicamente para el área vial, mientras que ASTM incluye información y procedimientos para utilizar e interpretar los resultados en ensayos correspondientes a otras áreas.

Las principales incongruencias entre las normas recaen en la especificación de materiales y/o equipos, precisión utilizada e ítems de calibración y verificación. Las normas ASTM y AASHTO dan relevancia a la calibración y verificación tanto de los equipos como materiales utilizados. Estos procedimientos, previenen errores y aumentan la precisión en los resultados obtenidos. Por lo anterior, en la propuesta de actualización incluye este ítem.

En el 85,6% de las veces se elige AASHTO u otra norma que tenga igualdad con AASHTO en el total de los cuadros comparativos. A partir de lo anterior, se puede concluir que está norma posee información más completa y adecuada para considerar en la actualización del Manual del Carreteras.

La relevancia de AASHTO para el método de horno de película delgada rotatorio es de 97,3%, mientras que para el método de envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos en cámara a presión es de un 81,2%. En consecuencia, la propuesta de actualización es basada en T240-13 y R28-12 respectivamente.

Para la propuesta de actualización de la normativa de medición de las propiedades reológicas (DSR), se considera un 92,3% de la información contenida en T315-12.

Para el caso de los ensayos de viscosidad (RV) y rigidez en flexión a bajas temperaturas (BBR), se utilizan las tres normas en la creación de la propuesta, sin embargo sigue siendo AASHTO aquella con mayor participación.

PAV es el método del Manual de Carreteras que requiere menor modificación debido a que es el método con la actualización más vigente (Marzo 2012) y basada en norma AASHTO.

La variación más relevante se encuentra en la normativa para HPDR, correspondiente a la utilización de una rejilla de refrigeración y al giro de los frascos antes de ser acondicionados según describe la norma AASHTO. Su importancia recae en que evita el derrame del ligante asfáltico.

---

## 10 REFERENCIA

- [1] M.C. 8.302.23, Método Superpave de Envejecimiento Acelerado de Ligantes Asfálticos en Cámara a Presión (PAV), Chile: Manual de Carreteras, Marzo 2012.
- [2] M.C. 8.302.56, Método para determinar el contenido de asfalto a ignición, Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2011.
- [3] M.C. 8.302.22, Método Superpave de Medición de Propiedades Reológicas Mediante el Reómetro de Corte Dinámico, Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2003.
- [4] M.C. 8.302.24, Método Superpave para Medir la Viscosidad Mediante el Viscosímetro Rotacional de Brookfield, Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2003.
- [5] M.C. 8.302.25, Método Superpave para Medir la Rigidez en Fluencia por Flexión a Bajas Temperaturas Mediante Reómetro de Viga de Flexión, Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2003.
- [6] M.C. 8.302.33, Método de Ensaye de Película Delgada Rotatoria, Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2003.
- [7] R. McGennis, R. M. Anderson, T. Kennedy y M. Solaimanian, Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave, 1994.
- [8] R. Delgadillo, M. Segovia, C. Wahr y G. Thenoux, Zonificación Superpave para Chile, Valparaíso, 2016.
- [9] Departamento de Gestión de calidad y desarrollo, Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas, Bitumix.
- [10] U.S. Department of transportation, Superpave Fundamentals, Reference Manual, National Highway institute.
- [11] M.C. 8.302.26, Método Superpave para Medir la Deformación a la Rotura en el Ensaye de Tracción Directa., Chile: Manual de Carreteras, Diciembre 2003.
- [12] M.C., Aprueba edición 2012 de los volúmenes N°2,3,4,5,6,7,8 y 9 del Manual de Carreteras y dispone publicación en internet, Santiago, Chile, 16 de Marzo 2012.
- [13] AASHTO T 240, Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt Binder (Rolling thin-Film Oven Test), Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013.
- [14] ASTM D2872, Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test), American Society for Testing Materials, 2012.

- 
- [15] AASHTO R 28, Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV), Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [16] ASTM D6521, Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV), American Society for Testing Materials, 2013.
- [17] AASHTO T 315, Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR), Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [18] ASTM D7175, Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, American Society for Testing Materials, 2015.
- [19] AASHTO T 316, Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer, Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2013.
- [20] ASTM D4402, Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer, American Society for Testing Materials, 2015.
- [21] AASHTO T 313, Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR), Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- [22] ASTM D6648, Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR), American Society for Testing Materials, 2008.
- [23] L. López y C. Wahr, «Determinación de las propiedades de betunes asfálticos tradicionales y modificados mediante ensayos tradicionales y el reómetro de corte dinámico (DSR),» Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, 2013.
- [24] SERVIU, Especificaciones Técnica Generales para Obras de Pavimentación de Asfalto en Caliente, CHILE: SERVIU METROPOLITANO.
- [25] P. Garnica, H. Delgado, J. Gómez, S. Romero y H. Alarcón, Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas, Sanfandilla, Qro, Mexico, 2004.
- [26] V. Lorca y C. Wahr, Diseño Volumétrico de una mezcla asfáltica en caliente mediante la metodología Superpave, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, 2016.
- [27] J. Pérez, P. Urrea y j. Barahona, Deformaciones permanentes y fatiga en concreto asfáltico (C.A.), Santo Domingo, Republica Dominicana, 2015.
- [28] C. Wahr, Apuntes del Curso Vialidad II, Departamento de Obras Civiles, Universidad Federico Santa María, Valparaíso, 2016.

---

[29] R. Zúñiga, Mezcla Asfáltica en caliente, Curso Laboralista Vial C, Laboratorio Nacional de Vialidad, Santiago, 2015.

---

# ANEXO A:

## CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------------|--|----------------------|--|-------|---|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                               |  | ITEM                 | 8.302.23   | ITEM  | D2872-12  | ITEM   | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A1  | Alcance y campo de aplicación | Tipo de material   | 1                    | Materiales asfálticos semisólidos en forma rutinaria, y para los otros tipos, sólo en caso de investigación. | 1.1   | Materiales asfálticos semisólidos.  | 1.1    | Ligantes asfálticos.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A2  | Sistema de Medición           | Se debe trabajar en siguiente sistema de   | -                    | No especifica.   | 1.2   | Sistema internacional (SI).   | 1.2    | Sistema internacional (SI).  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A3  | Resumen del método            | Tiempo de ensayo   | 2                    | 75 [min].  | 3.1   | 85 [min].   | 3.1    | 85 [min].  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A4  | Resumen del método            | Uso del residuo  | 2                    | No especifica.   | 3.1   | No especifica.  | 3.1    | El residuo de este ensayo también es utilizado para ensayos adicionales requeridos en AASHTO M320 (Performance-Grade Asphalt Binder).  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A5  | Significancia y uso           | Función del HPDR   | -                    | No especifica.   | 4.1   | Simula aproximadamente los cambios en las propiedades del ligante durante el mezclado a 150 [°C] indicado por la viscosidad y otras medidas reológicas. | 4.1    | Simula aproximadamente los cambios en las propiedades del ligante durante el mezclado a 150 [°C] indicado por la viscosidad y otras medidas reológicas.                          | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A6  | Significancia y uso           | Uso del residuo del ensayo   | -                    | No especifica.   | 4.1   | No especifica.  | 4.1    | El residuo de este ensayo también se utiliza para determinar la conformidad del ligante asfáltico según AASHTO M320 (Performance-Grade Asphalt Binder).                          | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A7  | Significancia y uso           | Uso del residuo del ensayo   | -                    | No especifica.   | 4.1   | Simula las condiciones del ligante asfáltico inmediatamente después de la construcción del pavimento.   | 4.1    | Simula las condiciones del ligante asfáltico inmediatamente después de la construcción del pavimento.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A8  | Significancia y uso           | Efectos de las propiedades en relación a la temperatura  | -                    | No especifica.   | 4.1   | Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150 [°C], el efecto en las propiedades puede ser mayor o menor.                                | 4.1    | Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150 [°C], el efecto en las propiedades puede ser mayor o menor.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A9  | Significancia y uso           | Cambio de masa   | -                    | No especifica.   | 4.1   | Este método también puede ser utilizado para determinar el cambio de masa, la cual es una medición de la volatilidad del asfalto.                       | 4.1    | Este método también puede ser utilizado para determinar el cambio de masa, la cual es una medición de la volatilidad del asfalto y el cambio de masa resultante de la oxidación. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A10 | Aparatos, horno               | Dimensión ventana del horno  | 3.1                  | Ancho = 300-330 [mm].<br>Alto = 200-230 [mm].  | 5.1   | Ancho = 305-330 [mm].<br>Alto = 203-229 [mm].   | 5.1    | Ancho = 305-330 [mm].<br>Alto = 203-229 [mm].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A11 | Aparatos, horno               | La parte superior del elemento de calentamiento debe estar por debajo del piso interior del horno a, | 3.1                  | 25 ± 3 [mm].   | 5.1   | 25 ± 3 [mm].  | 5.1    | No especifica, solo exige que permita mantener la temperatura requerida.   | NO          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| A12 | Aparatos, horno               | Abertura de los respiraderos   | 3.1                  | Fondo = 15 ± 0,5 [cm²].<br>Tope = 9,5 ± 0,5 [cm²].   | 5.1.1 | Fondo = 15 ± 0,7 [cm²].<br>Tope = 9,3 ± 0,45 [cm²].   | 5.1    | Fondo = 15 ± 0,7 [cm²].<br>Tope = 9,3 ± 0,45 [cm²].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A13 | Aparatos, horno               | Dimensiones de espacio con aire  | 3.1.a                | Profundidad = 38 [mm] desde las paredes al techo.  | 5.1.2 | 38,1 [mm].  | 5.1.1  | 38 [mm].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A14 | Aparatos, horno               | Ubicación eje de rotor tipo jaula de abanico   | 3.1.a                | Punto medio a lo ancho del horno y a 152 [mm] desde la cara del portador metálico circular.                  | 5.1.2 | Punto medio a lo ancho del horno y a 152,4 [mm] desde la cara del portador metálico circular.   | 5.1.1  | Punto medio a lo ancho del horno y a 152 [mm] desde la cara del portador metálico circular.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A15 | Aparatos, horno               | Diámetro del rotor tipo jaula de abanico   | 3.1.a                | 133,5 [mm].  | 5.1.2 | 133 [mm].   | 5.1.1  | 133,4 [mm].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A16 | Aparatos, horno               | Temperatura que debe ser capaz de mantener el control termostático                                   | 3.1.b                | 163 ± 0,5 [°C].  | 5.1.3 | 163 ± 0,5 [°C].   | 5.1.2  | 163 ± 1 [°C].  | NO          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|--|----------------------|--|-------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |  | ITEM                 | 8.302.23   | ITEM  | D2872-12   | ITEM   | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A17 | Aparatos, horno            | Ubicación del sensor del termóstato,                   | 3.1.b                | A 25 [mm] del lado izquierdo y aproximadamente a 38 [mm] del techo del interior del espacio aireado cerrado del horno, de modo que el extremo del elemento sensor está en un punto aproximado de 203 [mm] desde la pared trasera del interior del horno. | 5.1.3 | El sensor del termóstato puede ser ubicado en cualquier lugar, permitiendo que el horno mantenga la temperatura específica en este método.   | 5.1.2  | El sensor del termóstato puede ser ubicado en cualquier lugar, permitiendo que el horno mantenga la temperatura específica en este método.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A18 | Aparatos, horno            | Ubicación del termómetro                               | 3.1.b                | En el techo, que esté a 51 [mm] del lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de manera que el bulbo del termómetro esté dentro de 25 [mm] en una línea de nivel imaginario al eje del portador metálico circular.           | 5.1.4 | En el techo, que esté a 50,8 [mm] del lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de manera que el bulbo del termómetro esté dentro de 25 [mm] en una línea de nivel imaginario al eje del portador metálico circular.   | 5.1.3  | En el techo, que esté a 51 [mm] del lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de manera que el bulbo del termómetro esté dentro de 25 [mm] en una línea de nivel imaginario al eje del portador metálico circular.   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A19 | Aparatos, horno            | Diámetro portador circular vertical                    | 3.1.c                | 305 [mm].  | 5.1.5 | 304,8 [mm].  | 5.1.4  | 305 [mm].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A20 | Aparatos, horno            | Orificio surtidor de aire                              | 3.1.d                | 1,02 [mm].   | 5.1.6 | 1,016 [mm].  | 5.1.5  | 1,02 [mm].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A21 | Aparatos, horno            | Diámetro cañería conectada al surtidor de aire         | 3.1.d                | 7,9 [mm].  | 5.1.6 | 8 [mm].  | 5.1.5  | 7,9 [mm].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A22 | Aparatos, horno            | Cañería de salida del aire introducido por el surtidor | 3.1.d                | Cañería de cobre.  | 5.1.6 | Cañería de cobre refrigerada.  | 5.1.5  | Cañería de cobre refrigerada.  |             | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A23 | Aparatos, medidor de flujo | Ubicación medidor de flujo                             | 3.2                  | No específica.   | 5.2   | El medidor de flujo se posicionará de manera que se mantenga aproximadamente a temperatura ambiente.   | 5.2    | El medidor de flujo se posicionará de manera que se mantenga aproximadamente a temperatura ambiente.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A24 | Aparatos, medidor de flujo | Calibración  | 3.2                  | No específica.   | 5.2   | Periódicamente, mediante la prueba de humedad u otro método sustitutivo. La calibración se basará en el flujo de aire que sale de la tubería de aire, se realizará con el horno apagado a temperatura ambiente.  | 5.2    | Deberá ser calibrado al menos cada 12 meses mediante la prueba de humedad u otro método sustitutivo. La calibración se basará en el flujo de aire que sale de la tubería de aire, se llevará a cabo con el horno apagado a temperatura ambiente.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A25 | Aparatos, termómetro       | Tipo   | 3.3                  | 13C ASTM, como se describe en ASTM E1.   | 5.3   | 13C ASTM, como se describe en ASTM E1.   | 5.3    | 13C ASTM, como se describe en ASTM E1 con precisión de 0,2 [°C].   | NO          | M.C.- ASTM         | AASHTO         | 3        |
| A26 | Aparatos, termómetro       | Calibración  | 3.3                  | No específica.   | 5.3   | No específica.   | 5.3    | De acuerdo a los requerimientos especificados en R18.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A27 | Aparatos, termómetro       | Espesor de la cápsula                                  | 3.3                  | No específica.   | 5.3   | Este termómetro se usará para realizar todas las mediciones de temperaturas requeridas por este método. Con el fin de reducir el riesgo asociado a la rotura del termómetro, se puede envolver total o parcialmente en un polímero transparente con paredes de espesor mínimo de 0,25 [mm]. Si se usa la envoltura se instalará de tal forma que exista contacto mecánico sustancial con el termómetro y calibrarlo luego de la instalación de la envoltura. | 5.3    | Este termómetro se usará para realizar todas las mediciones de temperaturas requeridas por este método. Con el fin de reducir el riesgo asociado a la rotura del termómetro, se puede envolver total o parcialmente en un polímero transparente con paredes de espesor mínimo de 0,25 [mm]. Si se usa la envoltura se instalará de tal forma que exista contacto mecánico sustancial con el termómetro y calibrarlo luego de la instalación de la envoltura. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM        | DESCRIPCIÓN                              | MANUAL DE CARRETERAS |                             | ASTM              |   | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-------------------|---|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                        |  | ITEM                 | 8.302.23                    | ITEM              | D2872-12  | ITEM    | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A28 | Aparatos, termómetro   | Reemplazo del termómetro                 | 3.3                  | No especifica.              | 5.3.1             | El termómetro de ensayo puede ser reemplazado por un sistema de medición electrónico, provisto de los siguientes requerimientos:  | 5.3.1   | El termómetro de ensayo puede ser reemplazado por un sistema de medición electrónico, provisto de los siguientes requerimientos:   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A29 | Aparatos, termómetro   | Requisitos para reemplazar el termómetro | 3.3                  | No especifica.              | 5.3.1.1           | El termómetro de ensayo puede ser reemplazado por un sistema de medición electrónico, provisto de los siguientes requerimientos: Tres o cuatro cables grado A Platinum resistance thermometer (PRT) de acuerdo a la especificación E1137/E1137M. El sensor tendrá que estar en la misma posición y orientación de aquel que se ha reemplazado.  | 5.3.1.1 | El dispositivo debe ser ubicado en la misma posición que el termómetro reemplazado.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| A30 | Aparatos, termómetro   | Requisitos para reemplazar el termómetro | 3.3                  | No especifica.              | 5.3.1.2 - 5.3.1.3 | El sensor electrónico debe tener un tiempo de respuesta que no difiera en más de 30 % del tiempo de respuesta del termómetro del ensayo. La respuesta térmica debe ser definida como el tiempo requerido para lograr el 95 % de respuesta al cambio de temperatura, comenzando a temperatura ambiente, y finalizando en cualquier temperatura conveniente entre 165 - 170 [°C]. La guía para determinar la respuesta térmica se encuentra en Test Method E644. El Sistema de medición de la temperatura debe incluir una pantalla digital con resolución de 0,1 [°C]. | 5.3.1.2 | El dispositivo de temperatura debe: (1) Tener una escala de error no mayor a la del termómetro removido, y (2) precisión de 0,1[°C].   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A31 | Aparatos, termómetro   | Requisitos para reemplazar el termómetro | 3.3                  | No especifica.              | 5.3.1.3           | El sensor electrónico de temperatura y medidor de circuito electrónico deben ser calibrados y verificados como una unidad. La calibración y verificación será NIST Traceable. El sistema medidor de temperatura será calibrado antes de ser colocado en servicio y posteriormente la verificación será anual. Guiado por la norma dada en Test Methods E644.  | 5.3.1.3 | El dispositivo debe ser calibrado en los intervalos especificados por ASTM R18. Guiado por la norma dada en ASTM E220 o E644.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A32 | Aparatos, contenedores | Características                          | 3.4                  | Vidrio resistente al calor. | 5.4               | Transparente, resistente al calor.  | 5.4     | Resistente al calor, interior liso. El vidrio puede ser tratado (Ej. Empavonado) en su exterior para propósitos de manipulación.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A33 | Aparatos, balanza      | Tipos de acuerdo al uso                  | -                    | No especifica.              | -                 | No especifica.  | 5.5     | Si se desea determinar la pérdida por temperatura, se requiere de una balanza de Clase B conforme a los requisitos de M 231. Si sólo se desea el residuo, se puede utilizar una balanza Clase G2 conforme con M 231. La balanza será estandarizada de acuerdo con los requisitos especificados en R18. | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM                    | DESCRIPCIÓN                           | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--|-------|---|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                                    |                                       | ITEM                 | 8.302.23   | ITEM  | D2872-12  | ITEM   | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A34 | Aparatos, rejilla de refrigeración | Descripción de la rejilla             | -                    | No especifica.   | 5.5   | Rejilla de cable u hoja de metal, construida de acero inoxidable o aluminio que permita enfriar los contenedores en forma horizontal, con cada contenedor en el mismo plano horizontal. La rejilla debe permitir que el aire fluya libremente en cada contenedor con al menos 2,5 [cm] de espacio entre ellos y al menos 2,5 [cm] entre el contenedor y cualquier superficie sólida.  | 5.6    | Rejilla de cable u hoja de metal, construida de acero inoxidable o aluminio, que permita enfriar los contenedores en forma horizontal. La rejilla debe permitir que el aire fluya libremente en cada contenedor con al menos 25 [mm] de espacio entre ellos y al menos 25 [mm] entre el contenedor y cualquier superficie sólida.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A35 | Aparatos, nivel electrónico        | Descripción                           | -                    | No especifica.   | -     | No especifica.  | 5.7    | Opcional, Nivel electrónico. Nivel de precisión para medir el nivel de los soportes proporcionados por los orificios del portador metálico circular. La longitud será al menos 125 [mm] y el ancho de 30 ± 3 [mm]. La superficie de las vigas del nivel será plana. La resolución, exactitud y repetibilidad será de ± 1 grado. El nivel tendrá un botón de retención que permite congelar la medición para poder ser leída después de remover el nivelador del carro. | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A36 | Aparatos, nivel electrónico        | Modelo aceptable                      | -                    | No especifica.   | -     | No especifica.  | Note 2 | Un <i>SPI Tronic Digital level PRO 3600</i> un equipo equivalente es aceptable para este propósito. El dispositivo puede adquirirse a través de proveedores locales de herramientas para equipos o por correo.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A37 | Preparación del horno              | Tiempo de pre calentamiento del horno | 4.4                  | Por un mínimo de 120 [min], con los controles en la posición que se usarán durante la operación del horno. El control del termostato deberá ajustarse de modo que cuando el horno éste completamente cargado e inyectando aire, se establezca a 163±0,5 [°C], durante un periodo mínimo de 10 [min]. | 6.1.1 | Ajustar el termostato del horno con las condiciones que serán utilizadas durante el ensayo. Seleccione estas condiciones para que cuando el horno este completamente cargado y el aire encendido, el horno se equilibrará a 163 ± 0,5[°C], como se indica en el termómetro de ensayo. Prender el horno y simultáneamente registrar la hora de inicio aproximado al minuto entero más cercano. Determine y anote la temperatura del horno en intervalos de 15 [min]. Continúe este proceso hasta que el horno alcance el equilibrio térmico, el cual es considerado como el tiempo en que la temperatura del horno no varía más de 0,5 [°C] entre dos lecturas consecutivas. El tiempo de precalentamiento del horno es el tiempo que toma para alcanzar el equilibrio térmico más 30 [min] adicionales. | 6.5    | Por un mínimo de 2 [h], con los controles en la posición que se usarán durante el ensayo. El control del termostato deberá ajustarse de modo que cuando el horno éste completamente cargado e inyectando aire, se establezca a 163 ± 1,0 [°C], como indica el termómetro de prueba.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM       | DESCRIPCIÓN                                     | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |  | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------|---|----------------------|---|--------|--|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                       |   | ITEM                 | 8.302.23  | ITEM   | D2872-12   | ITEM   | T-240-13  |             |                    |                |          |
|     |                       |   |                      |   | 6.1.2  | En lugar de completar los pasos descritos en la Sección 6.1.1, se usará un tiempo de precalentamiento mínimo de 4 horas.   |        |   |             |                    |                |          |
| A38 | Preparación del horno | Posición de la salida de aire                   | 4.1                  | 6,4 [mm] desde la abertura del contenedor. El orificio debe estar ubicado de tal modo que el soplador sopla horizontalmente dentro del arco central de la abertura circular del contenedor de vidrio. | 7.1    | 6 ± 3 [mm] desde la abertura del contenedor. El orificio debe estar ubicado de tal modo que el soplador sopla horizontalmente dentro del arco central de la abertura circular del contenedor de vidrio.  | 6.1    | 6,4 [mm] desde la abertura del contenedor. El orificio debe estar ubicado de tal modo que el soplador sopla horizontalmente dentro del arco central de la abertura circular del contenedor de vidrio cuando el contenedor se encuentra en su posición de rotación más baja.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A39 | Preparación del horno | Posición termómetro                             | 4.2                  | El extremo del bulbo debe estar dentro de 25 [mm] del nivel del centro del eje del portador.  | 7.2    | El extremo del bulbo debe estar dentro de 25,4 [mm] del nivel del centro del eje del portador.   | 6.2    | El extremo del bulbo debe estar dentro de 25 [mm] del nivel del centro del eje del portador. Si se utiliza un termómetro alternativo, la posición es la especificada en 5.3 de modo que la punta del sensor cumpla con la posición establecida.   | NO          | NO                 | M.C.           | 5        |
| A40 | Preparación del horno | Precisión para la nivelación del horno          | 4.3                  | Para que los ejes de los contenedores queden horizontales cuando se ubiquen en el portador.   | 7.3    | Para que los ejes de los contenedores queden horizontales dentro de ± 1 grado.   | 6.3    | Para que los ejes de los contenedores queden horizontales dentro de ± 1 grado. Esto debe ser ejecutado mediante un chequeo del portador circular, no del nivel del horno. Un procedimiento recomendado para asegurar que los contenedores estén nivelados dentro del 0,1° esta dado en apéndice. Procedimientos alternativos pueden utilizarse para asegurar que el portador circular este nivelado dentro del 0,1°. Revisar el desgaste de la viga soportante cada 6 meses y cuando la nivelación del portador circular sea chequeada. | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| A41 | Preparación del horno | Consecuencia del desgaste de la viga soportante | -                    | No especifica.  | -      | No especifica.   | Note 3 | La viga que soporta el portador circular es propensa al desgaste, un desgaste excesivo provoca la inclinación del portador. Esto afecta la nivelación de los contenedores y puede generar el derrame del ligante desde los contenedores.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A42 | Preparación del horno | Flujo de aire                                   | -                    | No especifica.  | 7.4    | Encender el flujo de aire. El flujo de aire permanecerá encendido cuando la temperatura del horno este encendida y la puerta este cerrada. El flujo de aire parará cuando la puerta se abra. La detención del flujo de aire puede ser manual, con un bloqueo electrónico, u otro método. | 6.4    | Encender el flujo de aire. El flujo de aire permanecerá encendido cuando la temperatura del horno este encendida y la puerta este cerrada. El flujo de aire parará cuando la puerta se abra. La detención del flujo de aire puede ser manual, con un bloqueo electrónico, u otro método.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 4        |
| A43 | Preparación del horno | Distribución de la temperatura                  | -                    | No especifica.  | Note 2 | Porque la presencia de los contenedores de muestra afecta la distribución de la temperatura dentro del horno, los contenedores deben estar en el horno cuando se ajuste el termostato. El uso de los contenedores vacíos es aceptable para este propósito.                               | Note 4 | Porque la presencia de los contenedores de muestra afecta la distribución de la temperatura dentro del horno, los contenedores deben estar en el horno cuando se ajuste el termostato. El uso de los contenedores vacíos es aceptable para este propósito.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM         | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM   |   | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------|---|----------------------|--|--------|---|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                         |   | ITEM                 | 8.302.23   | ITEM   | D2872-12  | ITEM   | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A44 | Procedimiento de ensaye | Temperatura máxima del horno para preparar la muestra | 5.1                  | 163 [°C].  | 8.1    | 150 [°C].   | 7.1    | 163 [°C].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A45 | Procedimiento de ensaye | Medición masa contenedores                            | -                    | No especifica.   | -      | No especifica.  | 7.2    | Cuando el cambio de masa es determinado, anote la masa de dos contenedores vacíos usando una balanza analítica con precisión de 0,001 [g] o mayor.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A46 | Procedimiento de ensaye | Rotación del frasco                                   | -                    | No especifica.   | 8.3    | Inmediatamente después de verter la muestra dentro del frasco, volcar el frasco y dejarlo en posición horizontal sobre una superficie plana y limpia. Rotar el frasco lentamente hasta obtener, al menos, una rotación completa con el objeto de recubrir su superficie cilíndrica. No es necesario revestir los bordes abiertos de los contenedores, y se deben tomar cuidados para prevenir el derrame de la muestra durante este proceso. Colocar los contenedores horizontalmente en una rejilla refrigerante que se mantenga sin corriente de aire, a temperatura ambiente y alejada de hornos o alguna fuente de calor. | 7.3    | Inmediatamente después de verter la muestra dentro del frasco, volcar el frasco y dejarlo en posición horizontal sobre una superficie plana y limpia. Rotar el frasco lentamente hasta obtener, al menos, una rotación completa con el objeto de recubrir su superficie cilíndrica. No es necesario revestir el borde abierto del contenedor, y se deben tomar cuidados para prevenir el derrame de la muestra desde el contenedor durante este paso. Asegurar que ligante asfáltico no revierta la parte central del extremo abierto del contenedor. Colocar los contenedores horizontalmente en una rejilla refrigerante que se mantenga sin corriente de aire, a temperatura ambiente y alejada de hornos u otra fuente de calor. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A47 | Procedimiento de ensaye | Contenedores  | Nota 2               | Para ensayos arbitrarios se requieren ocho contenedores. | -      | No especifica.  | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | M.C.           | 4        |
| A48 | Procedimiento de ensaye | Revestimiento de los contenedores con asfalto         | -                    | No especifica.   | Note 3 | El revestimiento completo de la superficie cilíndrica de los contenedores puede no obtenerse en asfaltos altamente modificados.   | Note 5 | El revestimiento completo de la superficie cilíndrica de los contenedores puede no obtenerse en asfaltos altamente modificados.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A49 | Procedimiento de ensaye | Precisión de la medición del cambio de masa           | -                    | No especifica.   | Note 4 | Para determinar la variación de la masa con mayor precisión, la rejilla de refrigeración debe estar ubicada en un ambiente que posea la misma temperatura y humedad que la balanza usada para medir la masa de los contenedores.  | Note 6 | Para determinar la variación de la masa con mayor precisión, la rejilla de refrigeración debe estar ubicada en un ambiente que posea la misma temperatura y humedad que la balanza usada para medir la masa de los contenedores.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A50 | Procedimiento de ensaye | Efecto de la estática                                 | -                    | No especifica.   | Note 5 | La estática puede causar inestabilidad en la medición de la masa, debido a las características de los contenedores de vidrio. Este problema puede ser reducido montando una fuente de iones pasivos dentro de la pantalla de protección del equilibrio.   | Note 7 | La estática puede causar inestabilidad en la medición de la masa, debido a las características de los contenedores de vidrio. Este problema puede ser reducido montando una fuente de iones pasivos dentro de la pantalla de protección del equilibrio.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A51 | Procedimiento de ensaye | Enfriamiento de la muestra                            | 5.3                  | No especifica.   | 8.3.1  | En la rejilla de refrigeración por mínimo 60 [min] y máximo 180 [min].  | 7.4    | En la rejilla de refrigeración por al menos 60 [min] y pero no más de 180 [min] antes de colocar los contenedores en el horno.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM         | DESCRIPCIÓN                                       | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------|---|----------------------|--|-------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                         |   | ITEM                 | 8.302.23   | ITEM  | D2872-12  | ITEM   | T-240-13  |             |                    |                |          |
| A52 | Procedimiento de ensaye | Cambio de masa                                    | 5.3                  | Cuando desee el valor cuantitativo del cambio de masa, use dos contenedores para la determinación.   | 8.3.2 | Cuando el cambio de masa es determinado, use dos contenedores separados para este propósito. Después de enfriar determine la masa de estos contenedores usando una balanza analítica con precisión de 0,001 [g] o mayor. Ubicar separadamente los dos contenedores verticalmente sobre la balanza, registrar la masa con la resolución máxima de la balanza.  | 7.5    | Cuando el cambio de masa es determinado, use dos contenedores separados para este propósito. Después de enfriar determine la masa de estos contenedores usando una balanza analítica con precisión de 0,001 [g] o mayor. Ubicar separadamente los dos contenedores verticalmente sobre la balanza, registrar la masa con la resolución máxima de la balanza.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A53 | Procedimiento de ensaye | Flujo de aire                                     | 5.4                  | 4000 ± 300 [ml/min].   | 8.4   | 4000 ± 200 [ml/min].  | 7.6    | 4000 ± 300 [ml/min].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| A54 | Procedimiento de ensaye | Tiempo que el portador debe permanecer girando.   | 5.4                  | 75 [min].  | 8.4   | 85 [min].   | 7.6    | 85 [min].   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A55 | Procedimiento de ensaye | Determinar cambio de masa                         | 5.4                  | Para los contenedores de vidrio en los que se determina el cambio de masa, enfríe a la temperatura de la sala en un desecador, luego pese aproximado a 0,001 [g] y calcule el cambio en masa en base al asfalto del contenedor. Descarte el residuo. | 8.7   | Al término del periodo de ensayo, sacar los contenedores para determinar el cambio de masa, y ubicarlos horizontalmente en la rejilla de refrigeración. Dejarlos enfriar por mínimo 60 [min] y máximo 180 [min], luego determinar el cambio de masa de esos contenedores utilizando una balanza analítica con resolución de 0,001[g] o mayor. Ubicar separadamente los dos contenedores verticalmente sobre la balanza, registrar la masa con la resolución máxima de la balanza. | 7.7    | Al término del periodo de ensayo, sacar los contenedores para determinar el cambio de masa, y ubíquelos horizontalmente en la rejilla de refrigeración. Dejarlos enfriar por mínimo 60 [min] y máximo 180 [min], luego determinar el cambio de masa de esos contenedores utilizando una balanza analítica con resolución de 0,001[g] o mayor. Ubicar separadamente los dos contenedores verticalmente sobre la balanza, registrar la masa con la resolución máxima de la balanza. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A56 | Procedimiento de ensaye | Traspaso al contenedor recolector                 | 5.5                  | Inmediatamente vacíe todo el residuo, sin raspar, desde cada contenedor a un contenedor bastante más grande, de manera que cuando se haya recolectado todo, el contenedor no se llene más de un 75 % de su capacidad.                                | 8.5   | Remover cada contenedor con residuo, uno a la vez, transferirlo a un contenedor con capacidad de al menos 30 % mayor que el volumen de recuperación esperado de la muestra.   | 7.7    | Remover cada contenedor con residuo, uno a la vez, transferirlo a un contenedor con capacidad de al menos 30 % mayor que el volumen de recuperación esperado de la muestra.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A57 | Procedimiento de ensaye | Vertido del residuo                               | 5.5                  | Vacíe todo el residuo, sin raspar.   | 8.5   | Esta transferencia se realiza primero vertiendo el residuo que fluye libremente desde cada contenedor, y luego raspando la mayor cantidad de muestra posible de acuerdo al método mencionado anteriormente. Mientras el residuo es removido desde cada contenedor, la puerta del horno debe permanecer cerrada, con la temperatura y surtidor encendido y las muestras restantes girando en el portador circular.   | 7.7    | Esta transferencia se realiza primero vertiendo el residuo que fluye libremente desde cada contenedor, y luego raspando la mayor cantidad de muestra posible de acuerdo al método mencionado anteriormente. Mientras el residuo es removido desde cada contenedor, la puerta del horno debe permanecer cerrada, con la temperatura y surtidor encendido y las muestras restantes girando en el portador circular.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A58 | Procedimiento de ensaye | Tiempo de remoción de muestra de los contenedores | 5.5                  | No exige.  | 8.5   | 5 [min].  | 7.7    | 5 [min].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM         | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM   |   | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------|--|----------------------|--|--------|---|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                         |  | ITEM                 | 8.302.23                                 | ITEM   | D2872-12  | ITEM    | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A59 | Procedimiento de ensaye | Raspado de los contenedores  | -                    | No especifica.                           | Note 6 | Cualquier herramienta para raspar o técnica usada es aceptada, siempre y cuando saque más del 90 % del residuo de cada contenedor. Se ha determinado que el raspado circunferencial tiende a ser más eficaz que el raspado longitudinal.  | Note 8  | Cualquier herramienta para raspar o técnica usada es aceptada, siempre y cuando saque más del 90% del residuo de cada contenedor. Se ha determinado que el raspado circunferencial tiende a ser más eficaz que el raspado longitudinal.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A60 | Procedimiento de ensaye | Homogenización del residuo recolectado                                 | -                    | No especifica.                           | 8.6    | Luego de remover el residuo de cada contenedor, revuelva suavemente el contenedor recolector para homogeneizar la muestra sin introducir aire.  | 7.8     | Luego de remover el residuo de cada contenedor, revuelva suavemente el contenedor recolector para homogeneizar la muestra sin introducir aire.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| A61 | Procedimiento de ensaye | Tiempo límite dentro del cual se deben realizar los ensayos al residuo | 5.6                  | Dentro de 24 [h] de ejecutado el ensayo. | 8.6    | Dentro de 72 [h] de ejecutado el ensayo.  | 7.8     | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A62 | Procedimiento de ensaye | Derrame en los contenedores  | -                    | No especifica.                           | 8.7    | Observe si el residuo se ha derramado desde algún contenedor.   | 7.9.1   | Realice una nota en el reporte si cualquier muestra presenta indicios de haberse derramado. Si existe cualquier indicio de haber sido derramado desde el contenedor, no lo utilice para determinar el cambio de masa. Los resultados de un solo contenedor pueden ser utilizados para determinarlo. Cuando solo se utilice un contenedor para el cambio de masa escribirlo en el reporte. Utilizar dos contenedores para propósitos arbitrables. | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A63 | Procedimiento de ensaye | Derrame en los contenedores  | -                    | No especifica.                           | Note 7 | Algunos laboratorios han informado problemas con muestras que fluyen desde los contenedores durante la prueba. Si esto ocurre, revisar el nivel de los orificios del portador circular y las dimensiones del contenedor. Una solución al problema es utilizar contenedores con un anillo para evitar el derrame. Aquellos contenedores que no cumplan con los requisitos dimensionales no deben ser utilizados. | Note 9  | Algunos laboratorios han informado problemas con muestras que fluyen desde los contenedores durante la prueba. Si esto ocurre, revisar el nivel de los orificios del portador circular y las dimensiones del contenedor. Una solución al problema es utilizar contenedores con un anillo para evitar el derrame. Aquellos contenedores que no cumplan con los requisitos dimensionales no deben ser utilizados.                                  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A64 | Procedimiento de ensaye | Medición cambio de masa  | -                    | No especifica.                           | Note 8 | Para mejorar la precisión del cambio de masa, los contenedores utilizados para determinarla deben ser manipulados con guantes o pinzas limpias, y la transferencia a la balanza se debe realizar con pinzas para evitar la contaminación y cambios de temperatura que puedan provocar un error en la medición.  | Note 10 | Para mejorar la precisión del cambio de masa, los contenedores utilizados para determinarla deben ser manipulados con guantes o pinzas limpias, y la transferencia a la balanza se debe realizar con pinzas para evitar la contaminación y cambios de temperatura que puedan provocar un error en la medición.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A65 | Informe                 | Resultados de ensayos físicos  | -                    | No especifica.                           | -      | No especifica.  | Note 11 | Resultados de ensayos físicos requeridos por M320 son reportados como parte de métodos de ensayos especificados en M320, no como parte de este método.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                | ASTM   |  | AASHTO           |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|--|----------------------|----------------|--------|--|------------------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |  | ITEM                 | 8.302.23       | ITEM   | D2872-12   | ITEM             | T-240-13   |             |                    |                |          |
| A66 | Informe                    | Precisión para la medida del cambio de masa  | 6                    | No especifica. | 9.2    | Una vez determinado, informar el cambio de masa medido en los dos contenedores como porcentaje de la masa original con una precisión de 0,001 %. Informar la pérdida de masa como un número negativo, mientras que un aumento de la masa deberá expresarse como un número positivo.  | 8.2              | Una vez determinado, informar el cambio de masa medido en los dos contenedores como porcentaje de la masa original, con una precisión de 0,001 %. Informar la pérdida de masa como un número negativo, mientras que un aumento de la masa deberá expresarse como un número positivo.   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A67 | Informe                    | Precisión para la medida del cambio de masa  | 6                    | No especifica. | Note 9 | Este ensayo puede resultar con una pérdida o ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan, causando una disminución de la masa, mientras que el oxígeno reacciona con la muestra, causando un aumento de masa. El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o pérdida de masa general. Las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles generalmente tendrán una ganancia de masa, mientras que las muestras con un alto porcentaje de componentes volátiles perderán de masa. | Note12           | Este ensayo puede resultar con una pérdida o ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan, causando una disminución de la masa, mientras que el oxígeno reacciona con la muestra, causando un aumento de masa. El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o pérdida de masa general. Las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles generalmente tendrán una ganancia de masa, mientras que las muestras con un alto porcentaje de componentes volátiles perderán de masa.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| A68 | Informe                    | Precisión para la medida del cambio de masa  | 6                    | No especifica. | -      | No especifica.   | 8.3              | Informar la pérdida de ligante desde cualquier contenedor utilizado para este propósito. Informe si el cambio de masa está basado en un contenedor.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| A69 | Precisión, cambio de masa. | Base   | -                    | No especifica. | 10.2   | La precisión del cambio de masa ha sido estimada basándose en un análisis de AMRL a partir de 5900 repeticiones de este ensayo. El análisis indica que la desviación estándar 1S puede ser expresada en función del cambio de masa X usando las siguientes ecuaciones,   | Note 13          | La precisión dada en la Tabla 2 se basa en el análisis de 8 pares de muestras AMRL competentes. La información analizada proviene de 166 a 191 laboratorios para cada uno de los 8 pares. El análisis incluye 5 grados de ligante PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22 y PG 76-22 (SBS modificado). Las muestras utilizadas en el análisis tienen un rango promedio de pérdida de masa de -0,05 a -0,51 %. Las ecuaciones para la precisión estimada son confiables solo cuando el cambio de masa es negativo. El detalle de este análisis se encuentra en el reporte NCHRP Project No. 9-26, phase 3. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A70 | Precisión, cambio de masa. | Para juzgar aceptabilidad, pérdida de masa, operador individual, desviación estándar (1S)                    | -                    | No especifica. | 10.2   | si $X \leq -0,1\%$<br>$1s = 0,013 - 0,070 (X)$<br>si $X > -0,1\%$<br>$1s = 0,020$  | 9.2, Tabla 2 y 3 | $1S = 0,0061 + 0,0363 (X)$<br>$0,0 \text{ a } 0,1 \% = 0,0079$<br>$0,1 \text{ a } 0,2 \% = 0,0115$<br>$0,2 \text{ a } 0,3 \% = 0,0152$<br>$0,3 \text{ a } 0,4 \% = 0,0188$<br>$0,4 \text{ a } 0,5 \% = 0,0224$   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A71 | Precisión, cambio de masa. | Para juzgar aceptabilidad, pérdida de masa, operador individual, rango de aceptabilidad para dos resultados. | -                    | No especifica. | -      | No especifica.   | 9.2, Tabla 2 y 3 | $D2S = (0,0061 + 0,0363 (X_{avg})) \times (2,83)$<br>$0,0 \text{ a } 0,1 \% = 0,0224$<br>$0,1 \text{ a } 0,2 \% = 0,0327$<br>$0,2 \text{ a } 0,3 \% = 0,0429$<br>$0,3 \text{ a } 0,4 \% = 0,0532$<br>$0,4 \text{ a } 0,5 \% = 0,0635$  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO A: CUADRO COMPARATIVO MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                | ASTM |   | AASHTO              |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|--|----------------------|----------------|------|---|---------------------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |  | ITEM                 | 8.302.23       | ITEM | D2872-12  | ITEM                | T-240-13  |             |                    |                |          |
| A72 | Precisión, cambio de masa. | Para juzgar aceptabilidad, pérdida de masa, multi-laboratorio, desviación estándar (1S)                    | -                    | No especifica. | 10.2 | si $x \leq -0,1\%$<br>$1S = 0,020 - 0,200 (X)$<br><br>si $x > -0,1\%$<br>$1S = 0,040$   | 9.2,<br>Tabla 2 y 3 | $1S = 0,00153 + 0,1365 (X)$<br>$0,0 \text{ a } 0,1 \% = 0,0084$<br>$0,1 \text{ a } 0,2 \% = 0,0220$<br>$0,2 \text{ a } 0,3 \% = 0,0357$<br>$0,3 \text{ a } 0,4 \% = 0,0493$<br>$0,4 \text{ a } 0,5 \% = 0,0630$   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A73 | Precisión, cambio de masa. | Para juzgar aceptabilidad, pérdida de masa, multi-laboratorio, rango de aceptabilidad para dos resultados. | -                    | No especifica. | 10.3 | El limite de confianza del 95% para el intervalo aceptable de dos resultados (DS2) puede ser determinado multiplicando la desviación estándar (1S) estimada en 10.2 por el factor 2,83. | 9.2,<br>Tabla 2 y 3 | $D2S = (0,00153 + 0,1365 (X_{avg})) \times (2,83)$<br>$0,0 \text{ a } 0,1 \% = 0,0236$<br>$0,1 \text{ a } 0,2 \% = 0,0623$<br>$0,2 \text{ a } 0,3 \% = 0,1009$<br>$0,3 \text{ a } 0,4 \% = 0,1395$<br>$0,4 \text{ a } 0,5 \% = 0,1781$  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| A74 | Nivelación                 | Procedimiento recomendado para determinar la nivelación de los orificios del carro portador                | -                    | No especifica. | -    | No especifica.  | Apéndice X1.1.1     | Precisión: Colocar un plato de vidrio cuadrado en una plataforma rígida y ubicar el nivel en el centro del plato paralelo a uno de los lados. Si es necesario, fijar la placa de vidrio para que se no se balancee cuando se presiona en sus esquinas. Observar la posición de la burbuja y fijar uno de los bordes de la placa de vidrio hasta que la burbuja quede centrada entre las marcas. Tomar una lectura. Girar el nivel hacia el otro borde y nuevamente observar la posición de la burbuja y registrar la lectura. Las lecturas no deben diferir en más de 0,2 grados. | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
|     |                            |  |                      |                |      |   | Apéndice X1.1.2     | Sensibilidad: Con el nivel en centro del plato de vidrio y paralelo a uno de sus bordes, fijar un extremo del nivel y observar el cambio de posición de la burbuja. La cuña deberá tener un espesor suficiente para para aumentar el nivel cada 0,2 grados (0,5 [mm] en 140 [mm]). El aumento de la cuña debe causar un cambio distintivo y observable de la posición de la burbuja, si no lo es, el nivel carece de sensibilidad adecuada y se tiene que sustituir.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
|     |                            |  |                      |                |      |   | Apéndice X1.2       | Revisar si la viga que soporta el carro portador se encuentra desgastada. Si hay algún movimiento perceptible del carro al girar manualmente en un movimiento ascendente, sustituir la viga soportante antes de continuar.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
|     |                            |  |                      |                |      |   | Apéndice X1.3       | Girar el carro de manera que una de las aberturas quede 90° hacia la derecha de la vertical. Inserte el nivel en la abertura, registre la lectura, retire el nivel. Registrar el ángulo con respecto al 0,1° más próximo. Girar el carro 180° en dirección a las agujas del reloj y repita la medición.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
|     |                            |  |                      |                |      |   | Apéndice X1.4       | Las lecturas para cada posición deben ser $0,0 \pm 1,0^\circ$ . Calzar la parte inferior del horno hasta que se cumplan los requisitos.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
|     |                            |  |                      |                |      |   | Apéndice X1.5       | Repetir el proceso para las otras aberturas. Todas las lecturas deben ser $0,0 \pm 1,0^\circ$ . Si los requisitos no se pueden cumplir, consulte con el fabricante.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |



# ANEXO B:

CUADRO COMPARATIVO MÉTODO  
SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO  
ACCELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS  
EN CÁMARA A PRESIÓN

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM     |  | AASHTO   |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---|----------|--|----------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)   | ITEM     | D 6521 - 13  | ITEM     | R 28 - 12   |             |                    |                |          |
| B1  | Alcance         | Ligantes modificados  | -                    | No especifica.  | Note 1   | Ligantes asfálticos modificados pueden separarse en fases o formar una capa durante las condiciones del ensayo 8.302.33 (HPDR), los resultado de ensayos posteriores de este residuo pueden no representar el envejecimiento a corto plazo en servicio. La separación de fases o formación de una capa, o ambas también puede ocurrir durante las condiciones del PAV. Por lo tanto, el ensayo no es adecuado para algunos asfaltos modificados. | -        | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B2  | Alcance         | Condiciones del ensayo  | -                    | No especifica.  | Note2    | Las condiciones del ensayo PAV no son válidas para asfaltos que contengan material particulado.  | -        | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B3  | Alcance         | Unidades  | -                    | No especifica.  | 1.3      | Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como estándar. Los valores entre paréntesis en unidades de pulgada-libra se utilizan solamente para propósitos informativos.   | -        | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B4  | Terminología    | Ligante asfáltico   | 3.1                  | Cemento de base asfáltica producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulado.                                 | 3        | Las definiciones o términos utilizados en este ensayo se pueden encontrar en Terminology D8, determinado para el uso común en inglés, o combinación de ambas.  | 3.1      | Cemento de base asfáltica producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulado.                                 | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
|     |                 | En servicio   | 3.2                  | Hace referencia al envejecimiento del ligante asfáltico que ocurre en el pavimento, como resultado de los efectos combinados del tiempo, el tránsito y el medio ambiente. |          |  | 3.2      | Hace referencia al envejecimiento del ligante asfáltico que ocurre en el pavimento, como resultado de los efectos combinados del tiempo, el tránsito y el medio ambiente. |             |                    |                |          |
| B5  | Equipos         | Cámara de presión   | Nota 1               | No especifica.  | Note 3   | Para propósito practico, se recomienda que la cámara tenga 250 [mm] de diámetro y 265 [mm] de alto.  | Note 1   | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| B6  | Equipos         | Válvula de seguridad, que evite presiones superiores a                      | 5.1.b.i              | 2,2 [MPa].  | 6.1.2.1  | 2,5 [MPa].   | 6.1.2.1  | 2,2 [MPa].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B7  | Equipos         | Regulador de presión, precisión   | 5.1.b.ii             | 1% = 0,021 [MPa].   | 6.1.2.2  | 0,02 [MPa].  | 6.1.2.2  | 1% = 0,021 [MPa].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B8  | Equipos         | Válvula de sangrado, tiempo de reducción de presión hasta atmosférica local | 5.1.b.iii            | 9 ± 1 [min].  | 6.1.2.3. | 8-15 [min].  | 6.1.2.3. | 9 ± 1 [min].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B9  | Equipos         | Dispositivos controladores de temperatura                                   | 5.1.c.i              | Además debe mantener el espesor de la película de ligante de las bandejas dentro de la tolerancia especificada.   | 6.1.3.1  | No especifica.   | 6.1.3.1  | Además debe mantener el espesor de la película de ligante de las bandejas dentro de la tolerancia especificada.   | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B10 | Equipos         | Pre calentamiento de la cámara de presión                                   | -                    | No especifica.  | Note 4   | Puede ser necesario precalentar la cámara de presión para lograr la temperatura de acondicionamiento dentro del período requerido de 2 [h].  | -        | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM      | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------|--|----------------------|--|---------|--|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                      |  | ÍTEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)  | ÍTEM    | D 6521 - 13  | ÍTEM    | R 28 - 12  |             |                    |                |          |
| B11 | Equipos              | Dispositivo medidor de temperatura                         | Nota 2               | El RTD o detector térmico y su medidor pueden ser calibrados por el fabricante o por el proveedor comercial. La verificación del RTD se puede realizar de acuerdo con ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el detector térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de vidrio de inmersión parcial con un rango apropiado y coloque el detector térmico y el termómetro en el baño de agua. Fije el detector al termómetro de vidrio con una banda de goma o una liga. Permita que se alcance el equilibrio térmico entre el baño, el detector y el termómetro, y luego registre la temperatura del termómetro de vidrio y la lectura exterior proveniente del detector térmico. La temperatura en el baño no debe cambiar más de 0,1 [°C] por minuto durante el proceso de calibración. | -       | No especifica.   | Note 2  | El RTD o detector térmico y su medidor pueden ser calibrados por el fabricante o por el proveedor comercial. La verificación del RTD se puede realizar con un termómetro de mercurio NIST traceable ASTM 94C de acuerdo con ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el detector térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de vidrio de inmersión parcial con un rango apropiado y coloque el detector térmico y el termómetro en el baño de agua. Fije el detector al termómetro de vidrio con una banda de goma o una liga. Permita que se alcance el equilibrio térmico entre el baño, el detector y el termómetro, y luego registre la temperatura del termómetro de vidrio y la lectura exterior proveniente del detector térmico. La temperatura en el baño no debe cambiar más de 0,1 [°C] por minuto durante el proceso de calibración. | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B12 | Equipos              | Manómetro, precisión                                       | 5.1.d.iii            | 1% = 0,021 [MPa].  | 6.1.4.3 | 0,02 [MPa].  | 6.1.4.3 | 1% = 0,021 [MPa].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B13 | Equipos              | Bandejas de acero inoxidable, diámetro interior            | 5.2                  | 140 [mm].  | 6.2     | 140 ± 1[mm].   | 6.2     | 140 [mm].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B14 | Equipos              | Bandejas de acero inoxidable, profundidad                  | 5.2                  | 9,5 [mm].  | 6.2     | 9,5 ± 1,5 [mm].  | 6.2     | 9,5 [mm].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B15 | Equipos              | Bandejas de acero inoxidable, espesor                      | 5.2                  | ≈ 0,6 [mm], Permite un mín. 0,4.   | 6.2     | ≈ 0,6 [mm].  | 6.2     | ≈ 0,635 [mm].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B16 | Materiales y equipos | Bandejas de acero inoxidable                               | -                    | No especifica.   | Note 5  | Las bandejas de acero inoxidable más que las de aluminio, son requeridas para el PAV porque proveen un ambiente más seguro para los hidrocarburos expuestos a altas temperaturas y presiones, además no se deforman o doblan fácilmente.   | 6.2     | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B17 | Materiales y equipos | Bandejas de acero inoxidable                               | Nota 3               | Las bandejas tienen tendencia a deformarse con el uso. Las bandejas confeccionadas con una hoja N°24 de acero inoxidable cumplen con el espesor recomendado. Las bandejas de hoja N°26 de un metal inoxidable también son aceptables, pero tienen una mayor tendencia a doblarse durante su uso. Sin embargo, en ningún caso los espesores del metal serán menores que 0,4 [mm].   | Note 6  | Las bandejas de acero inoxidable tienen tendencia a deformarse o doblarse con el uso. Aunque los ensayos demuestran que una leve inclinación no afecta significativamente los resultados. Se recomienda realizar inspecciones frecuentes para eliminar la inclinación o deterioro de las bandejas. | -       | No especifica.   | NO          | NO                 | M.C.           | 2        |
| B18 | Materiales y equipos | Horno de vacío, temperatura que debe ser capaz de mantener | 5.4                  | Sobre 180 ± 5 [°C] y vacío de 1,0 [kPa] absoluto.  | 6.6     | 180 ± 5 [°C] y presión absoluta de 15 ± 1 [kPa].   | 6.4     | Superior 180 ± 5 [°C] y absoluto de 1,0 [kPa].   | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 5        |
| B19 | Materiales y equipos | Horno de vacío, dispositivo medidor de temperatura         | 5.4                  | No especifica.   | 6.4.1.1 | Sensor de temperatura capaz de medir la temperatura de la cámara del horno de vacío a ± 5 [°C].  | 6.4     | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B20 | Materiales y equipos | Horno de vacío, dispositivo medidor de vacío               | 5.4                  | No especifica.   | 6.4.1.2 | Un manómetro de vacío, un manómetro de presión absoluto o un sistema de medición digital de vacío capaz de medir la presión absoluta en la cámara a 0,5 [kPa].   | 6.4     | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------------|--|----------------------|---|--------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                               |  | ÍTEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)   | ÍTEM   | D 6521 - 13  | ÍTEM   | R 28 - 12  |             |                    |                |          |
| B21 | Materiales y equipos          | Manómetro  | -                    | No especifica.  | Note 7 | Un manómetro de vacío proporciona la diferencia de presión entre la presión atmosférica ambiental y la presión absoluta dentro del horno de vacío. A nivel del mar, donde la presión atmosférica es igual a 101,3 [kPa] (29,9 [pulg. Hg]) y con una presión absoluta dentro del horno igual a 15,0 [kPa] (4,4 [pulg. Hg]), el manómetro leerá 86,3 [kPa] (25,5 [pulg. Hg]). A una altitud de 1000 [m] (3281 [pies]) donde la presión atmosférica ambiente es 89,7 [kPa] (26,5 [pulg. Hg]), la lectura del manómetro será 26,5 [pulg. Hg] menos 4,4 [pulg. Hg] o 22,1 [pulg. Hg]. Una conversión de altitud con corrección de temperatura para la indicación relativa del manómetro es restar 0,85 [pulg. Hg] por cada 250 [m] de altitud (restar 0,52 en [Hg] por cada 500 [pies] de altitud). | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B22 | Materiales y equipos          | Aire comprimido  | 5.6                  | Comercial o equivalente.  | 7.1    | Aire comercial con los requerimientos mínimos de CGA grado Dy teniendo como máximo un punto de condensación de -40 [°C].   | 7.1    | Comercial o equivalente.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B23 | Materiales y equipos          | Aire comprimido  | -                    | No especifica.  | Note 8 | En Norte América, CGA Grade D air comúnmente se refiere a OSHA breathing air. Publicación G-7.1.-1997 define el Grado D como 19,5 -23,5% de oxígeno, predominando el nitrógeno dentro del balance. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) es limitado a 1000 [ppm] (v/v), el monóxido de carbono se limita a 10 [ppm] y aceite (condensado) a 5 [mg/m <sup>3</sup> ].   | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B24 | Calibración y estandarización | Termómetro PAV, temperatura a que se debe realizar la verificación | 6.1                  | No especifica.  | 9.1.1  | La verificación debe realizarse dentro del rango de 90 - 110 [°C].   | 9.3    | Dentro de los 10 [°C] de la temperatura de envejecimiento.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B25 | Calibración y estandarización | Calibración del manómetro  | Nota 4               | Usualmente el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | -      | No especifica.   | Note 3 | Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------------|--|----------------------|--|---------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                               |  | ÍTEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)  | ÍTEM    | D 6521 - 13  | ÍTEM   | R 28 - 12  |             |                    |                |          |
| B26 | Calibración y estandarización | Verificación termómetro                                | -                    | No especifica.   | Note 9  | Para evitar que se dañen los sensores o accesorios de los termómetros fabricados para el PAV no deben ser removidos para realizar la verificación. Una técnica adecuada de verificación consiste en 1) llevar la sonda del termómetro calibrado al sensor montado dentro del recipiente del PAV y asegurar que estén en contacto, 2) colocar la cubierta sobre la cámara, permitiendo que los conductores del termómetro salgan de la cámara bajo la cubierta sin fijarla, 3) permitir que la cámara alcance el equilibrio térmico de modo que la temperatura sea constante a $\pm 0,1$ [°C], 4) después de alcanzar el equilibrio, registrar simultáneamente la temperatura de los dos dispositivos termométricos a intervalos de un minuto hasta que la diferencia entre las lecturas difieran a lo más en $0,1$ [°C] en tres lecturas consecutivas, y 5) registrar el promedio de tres lecturas para cada dispositivo. El promedio de la diferencia de las lecturas entre los dos dispositivos es el factor de corrección a aplicar cuando se selecciona la temperatura de acondicionamiento. Anotar en la cámara a presión la temperatura de corrección y fecha de determinación. Como alternativamente, si el dispositivo termoelectrónico PAV así lo permite, ajuste la calibración del dispositivo de modo tal que el indicador de temperatura y el termómetro calibrado indiquen la misma temperatura. | -      | No especifica.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B27 | Calibración y estandarización | Sensor   | -                    | No especifica.   | Note 10 | Si el sensor es posicionado horizontalmente, un bloque de metal aproximadamente de 25 x 25 x 25 [mm] perforado en dos caras adyacentes utilizado para acomodar e instalar los dos sensores térmicos.   | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B28 | Calibración y estandarización | Termómetro del horno de vacío                          | Nota 4               | Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | 9.1.2   | Calibración debe realizarse a una temperatura dentro de $10$ [°C] de la temperatura utilizada.   | Note 3 | Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | SI          | NO                 | M.C.           | 5        |
| B29 | Calibración y estandarización | Manómetro  | Nota 4               | Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | 9.2.1   | Verificar la calibración del manómetro o medidor digital de vacío para igualar las lecturas dentro de $\pm 0,02$ [MPa] al menos cada 6 meses utilizando un indicador de presión calibrado de acuerdo a la normativa nacional. La verificación debe ser realizada cerca de la presión utilizada dentro de $2,00 - 2,10$ [MPa].  | Note 3 | Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado. | SI          | NO                 | M.C.           | 5        |
| B30 | Calibración y estandarización | Vacío del horno de vacío o medidor de presión absoluta | Nota 4               | Por el fabricante.   | 9.2.2   | Verificar con un manómetro calibrado y certificado de precisión de $\pm 0,5$ [kPa] presión absoluta cada 6 meses. La verificación debe realizarse cerca de la presión absoluta utilizada entre $12,5 - 17,5$ [kPa].  | Note 3 | Por el fabricante.   | SI          | NO                 | M.C.           | 5        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------------|--|----------------------|---|---------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                               |  | ÍTEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)   | ÍTEM    | D 6521 - 13  | ÍTEM   | R 28 - 12  |             |                    |                |          |
| B31 | Calibración y estandarización | Nivelación, muestras de las bandejas                           | -                    | No especifica.  | 9.3.1   | Comprobar la nivelación del bastidor de muestras, colocándolo sobre una superficie nivelada y medir en la parte superior del bastidor. Se prefiere un nivel ojo de buey. Sin embargo, se puede utilizar un nivel de precisión pequeño (aproximadamente 150 [mm]), pero la nivelación debe ser verificada en más de un plano (es decir, en ángulo recto).   | -      | No especifica.   | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| B32 | Calibración y estandarización | Nivelación, muestras de las bandejas                           | -                    | No especifica.  | 9.3.2   | Verificar la nivelación del bastidor instalado en la cámara de presión, ambas deben estar a temperatura de ensayo antes de realizar la verificación. La verificación es similar a la descrita en 6.3.1 excepto que los soportes del PAV deben ser ajustados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para asegurar la nivelación.   | -      | No especifica.   | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| B33 | Procedimiento                 | Raspado del ligante proveniente de los contenedores del HPDR   | 7.3                  | Actualmente no está permitido por el método 8.302.23 (HPDR), de realizarse se debe informar con los resultados del ensayo.  | -       | No especifica.   | 10.1   | De acuerdo con AASHTO T240 (si está permitido el raspado).                         | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B34 | Procedimiento                 | Temperatura dentro de la cámara de presión                     | 7.11                 | 20 ± 2 [°C] debajo de la temperatura de envejecimiento.   | 10.9    | Temperatura determinada en 9.4.  | 10.10  | 20 [°C] debajo de la temperatura de envejecimiento.                                | SI          | M.C. - AASHTO      | ASTM           | 3        |
| B35 | Procedimiento                 | Ocasiones en las que se debe invalidar el procedimiento        | 7.14                 | Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura se sitúa sobre o bajo la temperatura de envejecimiento ± 0,5 [°C] por más de 6 [min] durante el periodo de 20 [h], el ensayo se declara no valido y deseche el material. | 10.11   | Además, si la temperatura entregada por el dispositivo de registro varía de la temperatura de envejecimiento en más de 5 [°C] para un total de 10 minutos, declarar inválido el procedimiento de acondicionamiento y descartar el material. Si la presión al final del periodo de acondicionamiento está fuera del rango designado en 10.9, declarar inválido el procedimiento y descartar el material. Si se utilizó un dispositivo capaz de registrar sólo las temperaturas mínimas y máximas y si la temperatura máxima o mínima registrada durante el periodo de 20 [h] varía más de ± 0,5 [°C] de la temperatura de acondicionamiento, declarar inválido el proceso de acondicionamiento y descartar el material. | 10.13  | No incluye estas situaciones.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| B36 | Procedimiento                 | Tiempo para igualar presiones internas y externas de la cámara | 7.13                 | 9 ± 1 [min].  | 10.12   | 8-15 [min].  | 10.12  | 9 ± 1 [min].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| B37 | Procedimiento                 | Temperatura y tiempo de colocación de las bandejas en el homo  | 7.15                 | 163 [°C] por 15 ± 1 [min].  | 10.13.1 | 168 ± 5 [°C] por 15 ± 1 [min].   | 10.14  | Mínima temperatura para un tiempo mínimo hasta que este lo suficientemente fluido. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |   | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---|---------|---|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)   | ITEM    | D 6521 - 13   | ITEM   | R 28 - 12  |             |                    |                |          |
| B38 | Procedimiento   | Recolección del ligante luego de ser acondicionado. | 7.17                 | Retire las bandejas del horno y vierta el residuo caliente en un solo recipiente. Seleccione un recipiente de dimensiones tales que la profundidad del residuo sea de 15 a 40 [mm].   | 10.13.3 | Remueva las bandejas del horno y raspe el residuo caliente de todas las bandejas e introdúzcalos en un solo recipiente. Seleccione un contenedor de dimensiones en que la profundidad del residuo sea entre 15 y 40 [mm]. | 10.14  | Si el ligante es acondicionado en múltiples bandejas, coloque el residuo caliente dentro de un contenedor. Raspe el residuo restante de las bandejas e incorpórelo en un solo recipiente, revuelva suavemente para mezclar el residuo. Si la muestra requiere ser calentada a una temperatura superior a 175 [°C] para facilitar el vaciado, anote la temperatura y tiempo de calentamiento en el reporte. | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B39 | Procedimiento   | Temperatura de vaciado                              | Nota 11              | Se recomiendan las temperaturas mínimas de vaciado que producen una consistencia equivalente al grado de aceite de motor SAE 10W 30 a temperatura ambiente (de fácil vaciado, pero no excesivamente fluido). El calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos a temperaturas superiores a 135 [°C] debe ser evitado; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vaciado por sobre 135 [°C]. El residuo del ensaye acelerado de envejecimiento en cámara de presión debe dejarse calentando en las bandejas a 163 [°C], y ser agitado para remover las burbujas de aire. En todos los casos el tiempo de calentamiento debe ser minimizado. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento por oxidación y la pérdida de volátiles que endurezcan la muestra. Durante el proceso de calentamiento, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente para asegurar homogeneidad. | -       | No especifica.  | -      | No especifica.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012)   | ITEM    | D 6521 - 13  | ITEM    | R 28 - 12   |             |                    |                |          |
| B40 | Procedimiento   | Temperaturas de vaciado   | Nota 12              | Se recomiendan temperaturas de vaciado, que produzcan una consistencia tal que el asfalto se vierta fácil, pero no se recomienda que esté muy fluido. Como sea, se puede requerir para algunos ligantes modificados o ligantes excesivamente envejecidos, temperaturas sobre 135 [°C]. Residuos de PAV (Cámara de Envejecimiento a Presión) pueden calentarse en los platillos del ensaye de horno de película delgada a 163 [°C] y agitarse. Estas precauciones ayudarán a evitar endurecimiento por oxidación y pérdidas de volátiles que endurecerán a las muestras. Durante el proceso de calentado, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente, raspando el fondo de los platillos para asegurar homogeneidad. Se recomiendan temperaturas de vaciado, que produzcan una consistencia tal que el asfalto se vierta fácil, pero no se recomienda que esté muy fluido. Como sea, se puede requerir para algunos ligantes modificados o ligantes excesivamente envejecidos, temperaturas sobre 135 [°C]. Residuos de PAV (Cámara de Envejecimiento a Presión) pueden calentarse en los platillos del ensaye de horno de película delgada a 163 [°C] y agitarse. Estas precauciones ayudarán a evitar endurecimiento por oxidación y pérdidas de volátiles que endurecerán a las muestras. Durante el proceso de calentado, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente, raspando el fondo de los platillos para asegurar homogeneidad. | -       | No especifica.   | Note 10 | Una temperatura de 163 [°C] ha sido considerada adecuada para muchos grados de asfaltos.                | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B41 | Procedimiento   | Tiempo que debe mantenerse el recipiente dentro del horno de vacío a 170 ± 5 [°C] antes de aplicar el vacío | 7.17                 | 10 ± 1 [min].   | 10.13.3 | 15 ± 1 [min].  | 10.15.1 | 15 ± 1 [min].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| B42 | Procedimiento   | Calentamiento del ligante   | -                    | No especifica.  | Note 17 | Es indispensable que el ligante sea calentado antes de ser sometido a un vacío. Una vez aplicado el vacío, se transferirá un poco de calor a la muestra. | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| B43 | Procedimiento   | Precisión   | Nota 13              | Una presión absoluta de 15 ± 2.5 [kPa] es equivalente a una lectura de 25 a 26 ½ pulgadas de mercurio [in Hg] en un medidor de vacío estándar.  | -       | No especifica.   | Note 11 | A nivel del mar, la presión atmosférica estándar es 29.92 [inHg], 760 [mmHg], 1,013 [kPa] o 14,7 [psi]. | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO B: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                       | ASTM |                | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|--|----------------------|-----------------------|------|----------------|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |  | ITEM                 | 8.302.23 (MARZO 2012) | ITEM | D 6521 - 13    | ITEM    | R 28 - 12   |             |                    |                |          |
| B44 | Procedimiento   | Corrección de la lectura del manómetro             | -                    | No especifica.        | -    | No especifica. | 10.16   | Un manómetro unido al recipiente indica la diferencia entre la presión atmosférica y la presión en el recipiente. Si el recipiente está situado por encima del nivel del mar, la lectura del manómetro debe ser corregida para permitir que se indique la presión absoluta correcta dentro del recipiente. Esta corrección no se utiliza si la cámara está equipada con un manómetro de presión absoluta. No corrija la lectura de la temperatura ni de la presión barométrica comunicada por una estación meteorológica ya que normalmente esta presión ya está corregida. | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B45 | Procedimiento   | Corrección del medidor de vacío                    | -                    | No especifica.        | -    | No especifica. | 10.16.1 | Corrija la lectura del medidor de vacío al nivel del mar usando un factor de corrección de acuerdo a la Tabla 1. Si se utiliza un manómetro absoluto, no se necesita realizar la corrección.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B46 | Procedimiento   | Desgasificación, precaución                        | -                    | No especifica.        | -    | No especifica. | Note 12 | Si aparece espuma sobre el ligante asfáltico en el borde del recipiente durante la desgasificación, reduzca la velocidad a la que se libera el vacío hasta que pare la formación de espuma.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B47 | Procedimiento   | Residuo generado                                   | -                    | No especifica.        | -    | No especifica. | 10.17   | Desde el residuo generado en la sección 7.17, preparar muestras directamente desde el contenedor, verter el contenido desde el contenedor para subdividir en contenedores pequeños para ensayos futuros, o dejar los contenedores aparte para ensayos futuros.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| B48 | Procedimiento   | Corrección de la presión de acuerdo a la elevación | -                    | No especifica.        | -    | No especifica. | Tabla 1 | Véase Anexo G.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |

---

# ANEXO C:

CUADRO COMPARATIVO MÉTODO  
SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS  
PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE  
REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM                | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|--------------------------------|--|----------------------|--|---------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                                |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM    | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C1  | Alcance y campo de aplicación. | Rango de temperatura en que se alcanza el módulo de corte dinámico entre 100[Pa] -10[MPa]. | 1.1                  | 5 - 85 [°C].   | 1.1     | 4 - 88 [°C].   | 1.1    | 6 - 88 [°C].   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C2  | Alcance y campo de aplicación. | Frecuencia angular en que se alcanza el módulo de corte dinámico                           | 1.1                  | No especifica.   | 1.1     | 10 [Rad/s].  | 1.1    | 10 [Rad/s].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C3  | Alcance y campo de aplicación. | Unidades   | 1.1                  | No especifica.   | 1.3     | Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como estándar. Otras unidades de medida no son incluidas en este método.   | 1.1    | No especifica.   | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C4  | Terminología                   | Ángulo de fase   | 3.3                  | Radianes.  | 3.1.9   | Grados.  | 3.2.11 | Radianes.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C5  | Terminología                   | Módulo de pérdida de corte G'  | 3.4                  | El módulo complejo de corte multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (disipada durante un ciclo de carga).              | -       | No especifica.   | 3.2.7  | El módulo complejo de corte multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (disipada durante un ciclo de carga).  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C6  | Terminología                   | Acondicionamiento del ligante asfáltico  | -                    | No especifica.   | 3.1.1   | Proceso que consiste en remover los efectos (moleculares) del endurecimiento mediante la aplicación de calor hasta que el ligante esté suficientemente fluido y pueda ser vertido fácilmente.  | 3.2.1  | Calentar el ligante hasta que se encuentre lo suficientemente fluido para remover los efectos del endurecimiento estérico.   | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C7  | Terminología                   | Módulo de Almacenamiento de Corte G''  | 3.5                  | El módulo complejo de corte multiplicado por el cosenodel ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo que es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga. | -       | No especifica.   | 3.2.15 | El módulo complejo de corte multiplicado por el cosenodel ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo la cual es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga.                       | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C8  | Terminología                   | Probetas de prueba   | -                    | No especifica.   | 3.1.4   | Muestra formada entre los platos del DSR, muestra de ligante asfáltico u otro polímero utilizada para determinar la temperatura del ligante entre los platos.  | 3.2.4  | Muestra formada de ligante asfáltico u otro polímero entre los platos del DSR, utilizada para determinar la temperatura del ligante entre los platos. La probeta de prueba es utilizada solo para determinar la temperatura de corrección.         | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C9  |                                |  |                      |  | 3.1.4.1 | Discusión: El ensayo de prueba no es usado para medir las propiedades reológicas del ligante asfáltico si no para determinar la temperatura de corrección.   |        |  |             | ASTM - AASHTO      | AASHTO         |          |
| C10 | Terminología                   | Termómetro portátil  | -                    | No especifica.   | 3.1.10  | Aparato electrónico portátil, separado del reómetro de corte dinámico, consiste en un detector de temperatura (sonda que contiene una termocupla o resistencia) asociado a circuitos electrónicos, con un sistema que permite mostrar la medición. | 3.2.12 | Aparato electrónico portátil, separado del reómetro de corte dinámico, consiste en un detector de temperatura (sonda que contiene una termocupla o resistencia) asociado a circuitos electrónicos, con un sistema que permite mostrar la medición. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C11 | Terminología                   | Termómetro de referencia   | -                    | No especifica.   | 3.1.11  | Termómetro calibrado por NIST, de mercurio o electrónico usado en los laboratorios comunes.  | 3.2.13 | Termómetro calibrado por NIST, de mercurio o electrónico usado en los laboratorios comunes.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C12 | Terminología                   | Equilibrio térmico   | -                    | No especifica.   | 3.1.12  | Condición alcanzada cuando la temperatura de la probeta entre los platos es contante.  | 3.2.17 | Condición alcanzada cuando la temperatura de la probeta entre los platos es contante.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM    | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|--------------------|--|----------------------|--|-------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                    |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM  | D7175 - 15  | ITEM   | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C13 | Terminología       | Calibración  | -                    | No especifica.   | -     | No especifica.  | 3.2.2  | Proceso que consiste en comprobar la exactitud y precisión de un dispositivo bajo el régimen de calibración NIST junto a la realización de ajustes a los dispositivos donde sea necesario para corregir la operación o precisión y exactitud. | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C14 | Terminología       | Ciclo de carga   | -                    | No especifica.   | -     | No especifica.  | 3.2.6  | Tiempo en el cual la probeta es cargada a una frecuencia, nivel de deformación o tensión determinada.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C15 | Terminología       | Temperatura de corrección  | -                    | No especifica.   | -     | No se define.   | 3.2.16 | Diferencia de la temperatura de la probeta indicada por el DSR y el termómetro portátil inserto entre los platos.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C16 | Terminología       | Verificación   | -                    | No especifica.   | -     | No especifica.  | 3.2.18 | Chequeo de la precisión del dispositivo o sus componentes de acuerdo a las normas internas del laboratorio. Usualmente se realiza mientras el laboratorio se encuentra en operación.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C17 | Resumen del método | Rango de temperatura en que se alcanza el módulo de corte dinámico entre 100[Pa] -10[MPa]. | 4.2                  | 5 - 85 [°C].   | 4.2   | 4 - 88 [°C].  | 4.2    | 6 - 88 [°C].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C18 | Resumen del método | Mantenimiento de temperatura de ensayo   | 4.4                  | Enfriamiento o calentamiento de los platos superiores e inferiores.  | 4.5   | Colocando los platos en un ambiente térmicamente controlado o cámara de ensayo.   | 4.4    | Enfriamiento o calentamiento de los platos. Colocando los platos en un ambiente térmicamente controlado o cámara de ensayo.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C19 | Resumen del método | Rango de frecuencia de carga oscilatoria.  | 4.5                  | 1 a 100 [Rad/s].   | 4.6   | 1 a 160 [Rad/s].  | 4.5    | 1 a 100 [Rad/s].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C20 | Significado y uso  | Propiedades viscoelásticas calculadas a partir del módulo complejo.                        | 5.2                  | Otras propiedades lineales viscoelásticas, tales como el módulo de almacenamiento (G'), o el módulo de pérdida de la energía disipada durante cada ciclo de carga (G''), se pueden calcular a partir del módulo complejo y el ángulo de fase. El módulo de pérdida (G'') es una medida de la energía disipada durante cada ciclo de carga. | 5.2   | No especifica.  | 5.2    | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C21 | Interferencias     | Dimensión material particulado   | -                    | No especifica.   | 6.1   | Solo es permitido material particulado inferior a 250[µm] en el ligante asfáltico, dimensiones superiores a estas son cercanas a la distancia entre los platos (Gap=1000[µm]). Para una caracterización precisa de las dos fases del material se debe cumplir que el espesor de la muestra sea al menos 4 veces más grande que el material particulado. | -      | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C22 | Interferencias     | Cálculo del módulo complejo  | -                    | No especifica.   | 6.1.1 | El cálculo del módulo complejo a partir de la información obtenida con el DSR, depende de la precisión de la medida del diámetro de la muestra, en consecuencia el diámetro de la probeta se asume igual a la de los platos de ensayo. Esta consideración es válida solo si la muestra está cortada correctamente.                                      | -      | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN                               | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---|--------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM   | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C23 | Interferencias  | Propiedades físicas del ligante asfáltico | -                    | No especifica.  | 6.1.2  | Las propiedades físicas del ligante asfáltico son sensibles a los ensayos de temperaturas e historial térmico. Con historial térmico se hace alusión al número de veces que la muestra ha sido calentada antes de ser ensayada. Controlar la temperatura de ensayo con precisión de $\pm 0,1$ [°C] y limitar la cantidad de veces que la muestra es calentada (se recomienda calentarla una sola vez) es esencial para obtener resultados representativos tanto dentro de un mismo laboratorio como con otros. | -      | No especifica.   | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C24 | Aparatos        | Reómetro de corte dinámico                | 6.1                  | No especifica.  | 7.1    | El proveedor del DSR deberá certificar que la frecuencia, ángulos de deflexión y torque, sean controlados y medidos, con precisión de 1 % o menos en cada rango de medición.   | 6.1    | No especifica.   | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C25 | Aparatos        | Diámetro de platos de ensayo              | 6.1.a                | 8,00 $\pm$ 0,05 [mm]  | 7.1.1  | 8,00 $\pm$ 0,02 [mm]   | 6.1.1  | 8,00 $\pm$ 0,02 [mm]   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C26 |                 |   |                      | 25,00 $\pm$ 0,05 [mm]   |        | 25,00 $\pm$ 0,05 [mm]  |        | SI   | TODAS       |                    | AASHTO         |          |
| C27 | Aparatos        | Diámetro de platos de ensayo              | -                    | No especifica.  | Fig.1  | 8,00 $\pm$ 0,1 [mm]  | Fig. 1 | 8,00 $\pm$ 0,02 [mm]   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C28 |                 |   |                      | No especifica.  |        | 25,00 $\pm$ 0,5 [mm]   |        | 25,00 $\pm$ 0,05 [mm]  | SI          |                    | AASHTO         |          |
| C29 | Aparatos        | Platos de ensayo, relieve                 | 6.1.a                | 2 a 5 [mm] de alto.   | 7.1.1  | $\geq 1,5$ [mm]  | 6.1.1  | $\geq 1,5$ [mm]  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C30 | Aparatos        | Platos de ensayo                          | 6.1.a                | No especifica.  | 7.1.1  | Los platos deben formar parte de los accesorios de ensayo que son utilizados para montar los platos en el DSR como se muestra en la Fig. 1.  | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C31 | Aparatos        | Platos de ensayo, concetricidad           | -                    | No especifica.  | Note 1 | Los platos deben ser concéntricos entre sí, por el momento no existe un método adecuado para chequear la concetricidad excepto observar que el centro de ambos platos estén alineados. Los platos deben girar sin moverse horizontal ni verticalmente (vaivén), deberán ser chequeados visualmente o con ayuda de reloj comparador en contacto con el borde del plato móvil mientras esta rotando.   | Note 1 | Para obtener información correcta, los platos deben ser concéntricos entre sí, por el momento no hay un método adecuado para chequear la concetricidad, excepto observar que el centro de ambos platos estén alineados. Los platos deben girar sin moverse horizontal ni verticalmente (vaivén), esto puede ser chequeado visualmente o con ayuda de un reloj comparador en contacto con el borde del plato móvil mientras esta rotando. Hay dos valores para determinar el comportamiento del sistema de medición: <i>centricidad</i> (movimiento horizontal) y <i>runout</i> (movimiento vertical). Generalmente el vaivén puede ser determinado si superior a $\pm 0,02$ [mm]. Para un sistema nuevo, un vaivén de $\pm 0,01$ [mm] es normal. Si el movimiento crece más de $\pm 0,02$ [mm] con el uso, se recomienda realizar una mantención con el proveedor. | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C32 | Aparatos        | Cámara ambiental, control de temperatura  | 6.1.b                | Circulación de un fluido o gas acondicionado (agua o nitrógeno son adecuados) | 7.1.2  | O por disposición adecuada de la activación de los controladores de temperatura para calentar los elementos (por ejemplo, elementos peltier en estado sólido) que rodea la muestra.  | 6.1.2  | O por una disposición adecuada de elementos peltier en estado sólido rodeando la muestra.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C33 | Aparatos        | Cámara ambiental, precauciones            | Nota 1               | No especifica.  | Note 2 | No especifica.   | Note 2 | La velocidad de bombeo del baño no debería ser modificada una vez que la temperatura haya sido ajustada a la deseada. Las líneas del medio deben ser inspeccionadas y limpiadas periódicamente, y reemplazadas de ser necesario para evitar obstrucciones.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|--|----------------------|--|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM    | D7175 - 15   | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C34 | Aparatos        | Controlador de temperatura, rango  | 6.1.b                | 5-85 [°C]  | 7.1.2.1 | 4-88 [°C]  | 6.1.2.1 | 3-88 [°C]   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C35 | Aparatos        | Sensor de temperatura  | 6.1.b                | 5-85 [°C]  | 7.1.3   | 4-88 [°C]  | 6.1.2.2 | 3-88 [°C]   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C36 | Aparatos        | Sensor de temperatura  | Nota 2               | El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.   | 7.1.3   | No especifica.   | 6.1.2.2 | El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C37 | Aparatos        | Sensor de temperatura  | Nota 2               | Se recomiendan sensores RTD de platino de acuerdo a Norma DIN 43760(Clase A) o equivalente.  | 7.1.3   | No especifica.   | Nota 3  | Se recomiendan sensores RTD de platino de acuerdo a Norma DIN 43760(Clase A) o equivalente.   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C38 | Aparatos        | Dispositivo de carga   | 6.1.c                | Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una precisión de 100 [µrad] alrededor de la deformación especificada. Si la carga se aplica bajo modalidad de tensión controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 [mN-m] alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 [N-m], será menor a 2 [miliradianes/N-m]. | 7.1.4   | No especifica.   | 6.1.3   | Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 [mN-m] alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 [N-m], será menor a 2 [miliradianes/N-m]. El fabricante debe certificar que la frecuencia y tensión, son controladas y medidas con una precisión del 1 % o menor en el rango de esta medición.                                  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C39 | Aparatos        | Sistema de control y registro de datos                                   | 6.1.d                | El sistema calculará y registrará la tensión de corte, deformación de corte, módulo complejo de corte [G*] y ángulo de fase [δ]. EL sistema medirá y registrará [G*], en el rango de 100 [Pa] a 10 [MPa], con una precisión menor o igual a 0,5 %, el ángulo de fase en el rango de 0 a 90 grados, con una precisión de 0,1°.  | 7.1.5   | No especifica.   | 6.1.4   | El sistema calculará y registrará la tensión de corte, deformación de corte, módulo complejo de corte [G*] y ángulo de fase [δ]. EL sistema medirá y registrará [G*], en el rango de 100 [Pa] a 10 [MPa], con una precisión menor o igual a 0,5 %, el ángulo de fase en el rango de 0 a 90 grados, con una precisión de 0,1°.   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C40 | Aparatos        | Requerimientos del sistema de control y adquisición de datos (Precisión) | Tabla 8.302.22. A    | Temperatura = 0,1 [°C].<br>Frecuencia = 1 %.<br>Torque = 10 [mN-m].<br>Ángulo de deflexión = 100 [µrad].   | -       | No especifica.   | Table 1 | Temperatura = 0,1 [°C].<br>Frecuencia = 1 %.<br>Torque = 10 [mN-m].<br>Ángulo de deflexión = 100 [µrad].  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C41 | Aparatos        | Molde de la probeta, altura  | 6.2                  | 1,5 veces la separación de los platos.   | 7.2     | Al menos 5 [mm].   | 6.2     | Mayor que 5 [mm].   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C42 | Aparatos        | Molde de la probeta, dimensión   | 6.2                  | No especifica.   | Note 3  | Las dimensiones anteriores han sido consideradas adecuadas para platos de ensayo de 25 [mm] con una separación (Gap) de 1 [mm] y cavidad del molde con un fondo cóncavo de diámetro aproximado de 18[mm] y una profundidad de al menos 2,0 [mm], para platos de ensayo de 8 [mm] con 2,0 [mm] (gap) un molde de cavidad con una parte inferior cóncava de diámetro aproximado a 8 [mm] y una profundidad de al menos 2,5 [mm]. | 6.2     | Si el molde es un solo molde de muestra, las siguientes dimensiones han sido determinadas adecuadas: Para platos de ensayo de 25 [mm] con una separación (gap) de 1 [mm] y cavidad del molde con un fondo cóncavo de diámetro aproximado a los 18[mm] y una profundidad de al menos 2,0 [mm], para platos de ensayo de 8[mm] con 2,0 [mm] (gap) un molde de cavidad con una parte inferior cóncava de diámetro aproximado a 8 [mm] y una profundidad de al menos 2,5 [mm].. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM             | DESCRIPCIÓN                         | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |  | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|--------|--|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                             |                                     | ÍTEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ÍTEM   | D7175 - 15   | ÍTEM    | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C43 | Aparatos                    | Espátula, dimensión                 | 6.3                  | Ancho de 4[mm]  | 7.3    | No especifica.   | 6.3     | Ancho de 4[mm]   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C44 | Aparatos                    | Termómetro de referencia            | -                    | No especifica.  | 7.4    | Puede ser un termómetro de mercurio certificado por NIST(s) (Véase 7.4.1 ) o Termómetro electrónico digital NIST (Véase 7.4.2 ) se mantendrá en el laboratorio como la temperatura estándar.   | 6.6     | Puede ser un termómetro de mercurio certificado por NIST (s) o Termómetro electrónico digital NIST. Esta temperatura estándar será utilizada para calibrar el termómetro portátil.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C45 | Aparatos                    | Termómetro de mercurio, rango       | -                    | No especifica.  | 7.4.1  | 0 - 88 [°C] y subdivisiones de 0,1 [°C].   | 6.6.1   | Rango adecuado y subdivisiones de 0,1 [°C].  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C46 | Aparatos                    | Termómetro de mercurio              | -                    | No especifica.  | 7.4.1  | El líquido del termómetro deberá ser verificado por lo menos una vez al año de acuerdo a Test Method E77 y Practice E563.  | 6.6.1   | Será un termómetro de inmersión parcial con un punto de hielo y estandarizado de acuerdo ASTM E563.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C47 | Aparatos                    | Dispositivo de visualización óptico | -                    | No especifica.  | Note 4 | Se recomienda como una opción un dispositivo de visualización óptico para utilizarlo con el termómetro de mercurio porque mejora la legibilidad y reduce al mínimo el error de lectura del termómetro de referencia.   | 6.6.1.1 | Para utilizarlo con el termómetro de mercurio y mejorar la legibilidad, reduce al mínimo el error al leer el termómetro.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C48 | Aparatos                    | Termómetro digital                  | -                    | No especifica.  | 7.4.2  | Un termómetro electrónico que incorpora un dispositivo termométrico o detector de resistencia con una precisión de $\pm 0,05$ [°C] y una resolución de 0,01 [°C]. El termómetro deberá ser calibrado al menos una vez al año por un servicio de calibración comercial usando un patrón de referencia NIST, de acuerdo con Test Methods E644. | 6.6.2   | Termómetro electrónico que incorpora un dispositivo termométrico o detector de resistencia con una precisión de $\pm 0,05$ [°C] y una resolución de 0,01 [°C]. El termómetro deberá ser calibrado al menos una vez al año por un servicio de calibración comercial usando un patrón de referencia NIST, de acuerdo con los métodos ASTM E77. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C49 | Aparatos                    | Termómetro portátil                 | 6.4                  | Una termocupla calibrada, RTD, de espesor o diámetro $\leq 2,0$ [mm], es adecuada para la medición de la temperatura de una probeta o muestra de ligante asfáltico. Las termocuplas y sensores no son confiables al $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ a menos que se calibren de acuerdo al estándar correspondiente al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), siendo calibrados como unidad integral, con sus medidores asociados o circuitos electrónicos. | 7.5    | Un termómetro portátil calibrado consiste en un dispositivo o detector termométrico o de resistencia, asociado a circuitos electrónicos y lectura digital. El espesor del detector no debe ser mayor de 2,0 [mm] de manera que se pueda insertar entre los platos de ensayo.   | 6.7     | Un termómetro portátil calibrado consiste en un dispositivo o detector termométrico o de resistencia, asociado a circuitos electrónicos y lectura digital. El espesor del detector no debe ser mayor de 2,0 [mm] de manera que se pueda insertar entre los platos de ensayo.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C50 | Aparatos                    | Termómetro portátil                 | 6.4                  | Típicamente los RTD de platino no son adecuados debido a que son demasiado grandes para ajustarse a la separación o distancia de separación entre los platos del reómetro.  | 7.5.1  | El aparato de temperatura de referencia (ver 7.4) puede ser usado para este propósito si el detector cabe dentro de la muestra cómo se requiere en 9.4.2.  | 6.7     | El aparato de temperatura de referencia (ver sección 6.6) puede ser usado para este propósito si el detector cabe dentro de la muestra cómo se requiere en sección 9.4.1 o 9.4.2   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C51 | Materiales                  | Material de limpieza                | -                    | No especifica.  | 8.1    | Huaipe, toalla de papel, varillas de algodón u otro material adecuado para la limpieza de los platos.  | 6.4     | Huaipe, toalla de papel, varillas de algodón u otro material adecuado para la limpieza de los platos.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C52 | Materiales                  | Soluciones de limpieza              | -                    | No especifica.  | Note 6 | Aceite mineral, solución de base cítrica, alcoholes minerales, tolueno, tricloro o algún solvente similar adecuado que permita la limpieza de los platos. Solventes orgánicos que no dejen residuos, como heptano, acetona o alcohol etílico también pueden ser usados.  | 6.5     | Aceite mineral, solución de base cítrica, alcoholes minerales, tolueno, o algún solvente similar adecuado que permita la limpieza de los platos. Acetona para remover los residuos de la superficie de los platos también es necesario.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C53 | Preparación de los aparatos | Inspección de los platos            | 8.1                  | Según recomendaciones del fabricante.   | 10.2   | Inspeccionar la superficie de los platos de ensayo y descartar cualquier plato con los bordes redondeados, dentados y con orificios profundos.   | 8.2     | Inspeccione la superficie de los platos de ensayo y descarte cualquier plato con los bordes redondeados, dentados u orificios profundos.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM             | DESCRIPCIÓN                          | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM     |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                             |                                      | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM     | D7175 - 15  | ITEM   | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C54 | Preparación de los aparatos | Preparación de los platos de ensayo. | 8.1                  | No especifica.            | 10.3     | Limpia cualquier residuo de ligante desde los platos con algún solvente orgánico como aceite mineral, alcoholes minerales, solvente de base cítrica o tolueno. Remover cualquier resto de solvente limpiando la superficie de los platos con varillas de algodón o un paño suave (huaspe) humedecido con solvente orgánico de grado reactivo como el heptano, alcohol etílico o acetona, si es necesario use una varilla de algodón seca o paño suave para asegurar que no se condense la humedad sobre los platos. | 8.2    | Limpie cualquier residuo de ligante desde los platos con algún solvente orgánicos como aceite mineral, mineral spirits, solvente de base cítrica o tolueno. Remover cualquier resto de solvente limpiando la superficie de los platos con varillas de algodón o un paño suave humedecido con solvente orgánico de grado reactivo como el heptano. Alcohol etílico o acetona, si es necesario use una varilla de algodón seca o paño suave para asegurar que no se condense la humedad sobre los platos. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C55 | Preparación de los aparatos | Montaje de los platos                | 8.2                  | No especifica.            | 10.4     | Asegurar visualmente que los platos estén paralelos entre sí.   | 8.3    | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C56 | Preparación de los aparatos | Ajuste de cero                       | -                    | No especifica.            | Note 14  | Si el instrumento tiene una compensación térmica, el gap debe establecerse con la primera temperatura de ensayo en vez de la mitad del rango de temperatura. Es sumamente importante fijar el cero gap correctamente debido a que errores en la fijación genera errores significativos como se muestra en la fig.3.   | -      | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C57 | Preparación de los aparatos | Ajuste de cero automáticamente       | -                    | No especifica.            | 10.5.1.3 | Cero gap de acuerdo al procedimiento de funcionamiento especificado por el fabricante del instrumento.  | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 3        |
| C58 | Preparación de los aparatos | Precalentamiento de los platos       | -                    | No especifica.            | 10.6     | Una vez se establece el cero gap de acuerdo a los métodos mencionados anteriormente (temperatura establecida), reajustar el cero gap y precalentar los platos. Precalentar los platos mejora la adhesión entre el ligante y los platos, especialmente a temperatura de grados intermedios.  | 8.6    | Una vez el cero gap se ha establecido según la sección 8.5, mueva los platos a la distancia establecida y precaliente los platos. Precalentar los platos mejora la adhesión entre el ligante y los platos, especialmente a temperatura de grados intermedios.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C59 | Preparación de los aparatos | Precalentar plato de 25 [mm]         | -                    | No especifica.            | 10.6.1   | Llevar los platos a temperatura de ensayo o a la menor temperatura de ensayo si será ensayado a más de una temperatura.   | 8.7    | Llevar los platos a temperatura de ensayo o a la menor temperatura de ensayo si será ensayado a más de una temperatura.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C60 | Preparación de los aparatos | Precalentar plato de 8[mm]           | -                    | No especifica.            | 10.6.2   | Llevar los platos entre 34 y 46 [°C] para precalentar el plato superior e inferior.   | 8.7    | Llevar los platos entre 34 y 46 [°C].   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C61 | Preparación de los aparatos | Distancia inicial (Gap) Platos 8[mm] | 8.5                  | 2±0,05 [mm]               | -        | No especifica.  | 8.7    | 2,1 [mm].   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C62 | Preparación de los aparatos | Distancia inicial (Gap)Platos 25[mm] | 8.5                  | 1±0,05 [mm]               | -        | No especifica.  | 8.7    | 1,05 [mm].  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM             | DESCRIPCIÓN                         | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM    |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|---------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                             |                                     | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM    | D7175 - 15  | ITEM   | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C63 | Preparación de los aparatos | Adhesión del ligante con los platos | -                    | No especifica.            | Note 16 | En función de obtener una adecuada adhesión entre el ligante y los platos de ensayo, se deberán precalentar los platos. Precalentar es crítico cuando se utiliza molde de silicona para preparar el ligante asfáltico, para ser traspasado a los platos y cuando se utilizan los platos de 8[mm]. Cuando se utiliza el método de colocación directa, a penas los platos son puestos en contacto con el ligante, el calor que trae el asfalto aumenta la adhesión. La temperatura requerida para proveer adhesión dependerá tanto del grado como naturaleza del ligante y temperatura de ensayo (platos de 8 y 25 [mm]). Para algunos asfaltos de grados rígidos, especialmente los altamente modificados, calentar los platos a 46 [°C] no será suficiente para asegurar la adhesión adecuada, especialmente si se utiliza molde de silicona y platos de 8[mm]. Solo para asfaltos altamente modificados se debe utilizar una temperatura de precalentamiento más alta. | Note 6 | En función de obtener una adecuada adhesión entre el ligante y los platos de ensayo, se deberán precalentar los platos. Precalentar es crítico cuando se utiliza molde de silicona para preparar el ligante asfáltico, para ser traspasado a los platos y cuando se utilizan los platos de 8[mm]. Cuando se utiliza el método de colocación directa, a penas los platos son puestos en contacto con el ligante, el calor que trae el asfalto aumenta la adhesión. La temperatura requerida para proveer adhesión dependerá tanto del grado como naturaleza del ligante y temperatura de ensayo (platos de 8 y 25 [mm]). Para algunos asfaltos de grados rígidos, especialmente los altamente modificados, calentar los platos a 46 [°C] no será suficiente para asegurar la adhesión adecuada, especialmente si se utiliza molde de silicona y platos de 8[mm]. Solo para asfaltos altamente modificados se debe utilizar una temperatura de precalentamiento más alta. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C64 | Verificación y calibración  | Frecuencia DSR y sus componentes    | 9.1                  | 6 meses                   | 9.1     | Recién instalado, se ha movido de lugar, y/o cada vez la precisión del DSR y/o cualquiera de sus componentes sea dudosa. Los cuatro componentes mencionados a continuación requieren ser verificados: diámetro del plato de ensayo, termómetro portátil, torque del transductor del DSR y la temperatura de la probeta de ensayo.   | 9.1    | Cada 6 meses, se ha instalado recientemente, reubicado, cada vez la precisión sea dudosa. Los cuatro componentes mencionados a continuación requieren ser verificados: diámetro del plato de ensayo, termómetro portátil, torque del transductor del DSR y la temperatura de la probeta de ensayo.  | SI          | NO                 | ASTM           | 2        |
| C65 | Verificación y calibración  | Diámetros de los platos             | -                    | No especifica.            | 9.2     | Antes del primer uso, medir el diámetro (promedio de 3 mediciones distantes en 120 ° entre sí.) con precisión de 0,02 [mm]. Verificar que los platos cumplan con los requerimientos especificados en 7.1.1 (Ensayo de platos). Mantener un registro de las medidas de los diámetros de forma tal que cada una está claramente asociada al plato correspondiente.  | 9.2    | Medir el diámetro con precisión de 0,01 [mm]. Mantener el log del diámetro medido como parte del control de calidad del laboratorio, las medidas están claramente identificadas con los platos específicos, ingresar las mediciones actuales al programa para ser utilizadas en el cálculo. Si alguno de los platos difiere en el diámetro, ingrese la medida menor o ambas.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C66 | Verificación y calibración  | Error en el diámetro                | -                    | No especifica.            | -       | No especifica.  | Note 7 | Un error de $\pm 0,05$ [mm] en el diámetro, conlleva a un 8 % de error del módulo complejo obtenido a partir de platos de 25[mm], al utilizar platos de 8[mm] errores en el diámetro de $\pm 0,01$ , $\pm 0,02$ y $\pm 0,05$ [mm] generan un error del módulo de 0,5; 1,0 y 2,5 % respectivamente.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM   |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|---|----------------------|--|--------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM   | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C67 | Verificación y calibración | Verificación del termómetro portátil  | -                    | No especifica.   | 9.3    | Verificar el termómetro portátil (usado para medir la temperatura entre los platos) cada 6 meses o menos usando el termómetro de referencia del laboratorio. Si el termómetro de referencia es también usado como termómetro portátil para medir la temperatura de los platos deberá ser calibrado como 9.3.1.; termómetros digitales deberán ser verificados usando el mismo medidor y circuito que es utilizado cuando la medición de la temperatura se realiza entre los platos.  | 9.3    | Verificar el termómetro portátil (usado para medir la temperatura entre los platos) usando el termómetro de referencia del laboratorio. Un termómetro portátil se considerara como una combinación de un medidor (aparato de lectura) y un termistor como una sola unidad, por lo que se debe verificar como tal. Si el termómetro de referencia también es utilizado como termómetro portátil para medir la temperatura entre los platos, revisar los requerimientos de la sección 6.7.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C68 | Verificación y calibración | Procedimiento recomendado de verificación termómetro de referencia cuando es usado como termómetro portátil | -                    | No especifica.   | 9.3.1  | Instalar el termómetro de referencia en contacto con el detector del termómetro portátil y ubicarlos en un baño de agua agitado controlado térmicamente. Asegurar que el agua sea des-ionizada para prevenir la conducción eléctrica entre los electrodos de los elementos sensibles. Si esto no es posible, poner el termómetro de referencia y detector del termómetro portátil dentro de una bolsa impermeable antes de sumergirlo en el baño. Obtener medidas en intervalos de 6 [°C] en el rango del test de temperatura, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico a cada temperatura. Si las lecturas del termómetro portátil y termómetro de referencia difieren en 0,1 [°C] o más, registrar la diferencia de cada temperatura como una temperatura de corrección y mantener un registro de las correcciones. | 9.3.1  | Instalar el termómetro de referencia en contacto con el detector del termómetro portátil y ubicarlos en un baño de agua agitado controlado térmicamente. Asegurar que el agua sea des-ionizada para prevenir la conducción eléctrica entre los electrodos de los elementos sensibles. Si esto no es posible, poner el termómetro de referencia y detector del termómetro portátil dentro de una bolsa impermeable antes de sumergirlo en el baño. Obtener medidas en intervalos de 6 [°C] en el rango del test de temperatura, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico a cada temperatura. Si las lecturas del termómetro portátil y termómetro de referencia difieren en 0,1 [°C] o más, registrar la diferencia de cada temperatura como una temperatura de corrección y mantener un registro de las correcciones. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C69 | Verificación y calibración | Procedimiento baño y unión de los termómetros   | Nota 5               | El RTD puede ser calibrado por un proveedor comercial. La verificación de la calibración puede ser obtenida comparando la salida desde el RTD con un termómetro de mercurio calibrado según ASTM E220. Un baño de agua agitado es adecuado para calibrar el sensor térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado (ASTM 90C para 0 a 30 [°C], o ASTM 91C para 20 a 50 [°C]) y coloque el sensor térmico y el termómetro en el baño de agua con agitador. Fije el detector al termómetro con una banda o anillo de goma. Espere a que el baño, el sensor y el termómetro lleguen a la temperatura de equilibrio y registre la temperatura del termómetro y la lectura del sensor. La temperatura en el baño deberá ser constante dentro de $\pm 0,1$ [°C]. | Note 7 | Se recomienda utilizar un baño de agua agitado, controlado a $\pm 0,1$ [°C], tales como el baño de viscosidad utilizado para el método de prueba D2170 o D2171. Llevar la sonda del termómetro portátil en contacto con el termómetro de referencia y manténgalos unidos. Un disco de goma funciona bien para este propósito. Sumergir el conjunto en el baño de agua y llevarlo al equilibrio térmico. Registrar la temperatura de cada dispositivo cuando se alcanza el equilibrio térmico.  | Note 8 | Se recomienda utilizar un baño de agua agitado, controlado a $\pm 0,1$ [°C], tales como el baño de viscosidad utilizado para el método de prueba D2170/D2170M o D2171/ D2171M. Puede utilizarse para baños de baja temperatura, congelados o de temperatura controlada. Llevar la sonda del termómetro portátil en contacto con el termómetro de referencia y manténgalos unidos. Un disco de goma funciona bien para este propósito. Sumergir el conjunto en el baño de agua y llevarlo al equilibrio térmico. Registrar la temperatura de cada dispositivo cuando se alcanza el equilibrio térmico.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN                              | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|--|----------------------|---|--------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM   | D7175 - 15  | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C70 | Verificación y calibración | Mediciones entre dos dispositivos        | -                    | No especifica.  | -      | No especifica.  | Note 9  | Si las mediciones de dos dispositivos difieren en 0,5°C o más se debe suspender la calibración o medición del termómetro portátil y ser recalibrado o reemplazado. Cambios continuos de la temperatura de corrección también generan sospechas del termómetro.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C71 | Verificación y calibración | Temperatura de corrección de la probeta  | 9.2.b                | Los gradientes térmicos dentro del reómetro y la dificultad de calibración del RTD mientras está montado en el reómetro (Nota 5), hacen necesaria una medición directa de la temperatura entre los platos, usando una probeta de prueba y un sensor térmico de referencia. Esto se lleva a cabo colocando la probeta de prueba entre los platos y leyendo la temperatura en la probeta con un sensor térmico de referencia. Como sensor térmico de referencia, se usará un RTD o termocupla como se describe más abajo en este mismo punto. | 9.4    | Los gradientes térmicos dentro del reómetro pueden causar diferencias entre la temperatura de la muestra y la temperatura indicada en el termómetro del DSR (también usados para controlar la temperatura de DSR). Cuando esas diferencias son igual o mayores a 0,1 [°C], determinar la temperatura de corrección usando detector térmico montado en un disco de silicona (ver 9.4.1.) o mediante una muestra de ligante asfáltico dentro de los platos colocando el detector del termómetro portátil dentro del ligante. La temperatura fuera del rango debe ser verificada cada vez que el termómetro portátil es verificado.  | 9.4     | Los gradientes térmicos dentro del reómetro pueden causar diferencias entre la temperatura de la muestra y la temperatura indicada en el termómetro del DSR (también utilizado para controlar la temperatura de DSR). Cuando esas diferencias son 0,1 [°C] o superiores, determinar la temperatura de corrección usando el detector térmico montado en un disco de silicona (sección 9.4.1) o mediante una muestra de ligante asfáltico entre los platos colocando el detector del termómetro portátil dentro del ligante (ver sección 9.4.2).  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C72 | Verificación y calibración | Método utilizando sello de silicona      | 9.2.b.i              | Use revestimiento de grasa de petróleo.   | Note 8 | Componentes antiadherentes, son comercializados con ese nombre en ferreterías y las tiendas de auto es mucho menos propenso a contaminar el agua que circula que la grasa de petróleo.  | Note 10 | Componentes antiadherentes, son comercializados con ese nombre en ferreterías y las tiendas de auto es mucho menos propenso a contaminar el agua que circula que la grasa de petróleo.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 4        |
| C73 | Verificación y calibración | Espesor y diámetro del sello de silicona | 9.2.b.i              | 2 [mm] de espesor y 25 [mm] de diámetro.  | Note 9 | El espesor del sello de silicona es de 2 [mm] y diámetro ligeramente más grande a 25 [mm].  | Note 11 | La medición del espesor del sello de silicona se realizará con un calibrador. Este espesor puede ser utilizado para establecer la distancia inicial (gap) de acuerdo a la temperatura.  | NO          | M.C. - ASTM        | ASTM           | 2        |
| C74 | Verificación y calibración | Método utilizado con probeta de prueba   | -                    | No especifica.  | 9.4.2  | Método utilizando probeta de prueba. La probeta de prueba será formada con ligante asfáltico, u otro polímero que fácilmente pueda formarse entre los platos. Colocar la probeta de prueba entre los platos e insertar el termómetro portátil en su interior, junto los platos hasta la distancia de ensayo (1 [mm] para platos de 25 [mm] y 2 [mm] para platos de 8[mm].), mantenga el detector centrado tanto vertical como radialmente con la probeta de prueba. Calentar los platos cuanto sea necesario permitiendo que la probeta complete la distancia entre los platos (gap de ensayo). No es necesario cortar la muestra pero se debe evitar el exceso en los bordes de los platos. Realizar gráficos de control utilizando la Guía E882. Determinar cualquier corrección de la temperatura necesaria de acuerdo a la sección 9.4.3. | 9.4.2   | Método utilizando probeta de prueba. La probeta de prueba será formada con ligante asfáltico, u otro polímero que fácilmente pueda formarse entre los platos. Colocar la probeta de prueba entre los platos e insertar el termómetro portátil en su interior, junto los platos hasta la distancia de ensayo (1 [mm] para platos de 25 [mm] y 2 [mm] para platos de 8[mm].), mantenga el detector centrado tanto vertical como radialmente con la probeta de prueba. Calentar los platos cuanto sea necesario permitiendo que la probeta complete la distancia entre los platos (gap de ensayo). No es necesario cortar la muestra pero se debe evitar el exceso en los bordes de los platos. Realizar gráficos de control utilizando la Guía E882. Determinar cualquier corrección de la temperatura necesaria de acuerdo a la sección 9.4.3. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN                                       | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |   | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|---|----------------------|---|---------|---|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM    | D7175 - 15  | ITEM    | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C75 | Verificación y calibración | Determinación de la temperatura de corrección     | 9.2b                 | Lea el instrumento RTD y la temperatura de la probeta de prueba. Suba la temperatura en incrementos de no más de 6 [°C] y repita las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de ensayo. Usando los resultados medidos, obtenga la variación de temperatura entre el instrumento RTD y el sensor térmico de referencia inserto entre los platos. Esta variación no será una constante, sino que variará con la temperatura de ensayo. Compense el controlador térmico sobre el reómetro, de modo que se obtenga la temperatura esperada de ensayo entre los platos. | 9.4.3   | Obtener mediciones simultáneas de la temperatura con el termómetro del DSR y portátil cada 6 [°C] hasta cubrir la gama de temperaturas de ensayo. En cada incremento de temperatura, después de que se haya alcanzado el equilibrio térmico, registrar la temperatura indicada por ambos termómetros con precisión de 0,1 [°C]. La temperatura de equilibrio se alcanza cuando la temperatura indicada por ambos termómetros no varía en más de 0,1 [°C] durante un período de cinco minutos. Obtener mediciones adicionales para incluir todo el rango de temperatura que será utilizado en la medición del módulo de corte dinámico   | 9.4.3   | Obtener mediciones simultáneas de la temperatura con el termómetro del DSR y portátil cada 6 [°C] hasta cubrir la gama de temperaturas de ensayo. En cada incremento de temperatura, después de que se haya alcanzado el equilibrio térmico, registrar la temperatura indicada por ambos termómetros con precisión de 0,1 [°C]. La temperatura de equilibrio se alcanza cuando la temperatura indicada por ambos termómetros no varía en más de 0,1 [°C] durante un período de cinco minutos. Obtener mediciones adicionales para incluir todo el rango de temperatura que será utilizado en la medición del módulo de corte dinámico  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C76 | Verificación y calibración | Gráfico de corrección de temperatura              | -                    | No especifica.  | 9.4.4   | Usando los datos obtenidos en 9.4.3, realizar un gráfico de la diferencia entre las dos mediciones de temperatura versus la temperatura obtenida con el termómetro portátil, Fig.2. Esta diferencia es la temperatura de corrección debe aplicarse al controlador de temperatura del DSR para obtener la temperatura deseada en la probeta ubicada entre los platos de ensayo. Informar la temperatura de corrección obtenida desde el gráfico para cada temperatura de ensayo correspondiente, y reporte la temperatura de ensayo corregida entre los platos como la temperatura de ensayo. Como alternativa, puede utilizarse un software para anotar las temperaturas de corrección. | 9.4.4   | Usando los datos obtenidos en 9.4 realizar un gráfico de la diferencia entre las dos mediciones de temperatura versus la temperatura obtenida con el termómetro portátil (Figure 3). Esta diferencia es la temperatura de corrección debe aplicarse al controlador de temperatura del DSR para obtener la temperatura deseada en la probeta ubicada entre los platos de ensayo. Informar la temperatura de corrección obtenida desde el gráfico para cada temperatura de ensayo correspondiente, y reporte la temperatura de ensayo corregida entre los platos como la temperatura de ensayo. Como alternativa, puede utilizarse un software para anotar las temperaturas de corrección. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C77 | Verificación y calibración | Diferencia entre las mediciones de la temperatura | -                    | No especifica.  | Note 11 | La diferencia entre las mediciones de temperatura puede que no sea una constante para el reómetro dado, pueden variar con las diferencia entre la temperatura del ensayo y la temperatura ambiente del laboratorio, así como con las fluctuaciones en la temperatura ambiente. La diferencia entre las dos mediciones de temperatura es causada en parte por gradientes térmicos de la probeta y accesorios.  | Note 13 | La diferencia entre las mediciones de temperatura puede que no sea una constante para el reómetro dado, pueden variar con las diferencia entre la temperatura del ensayo y la temperatura ambiente del laboratorio, así como con las fluctuaciones en la temperatura ambiente. La diferencia entre las dos mediciones de temperatura es causada en parte por gradientes térmicos de la probeta y accesorios.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C78 | Verificación y calibración | Verificación del DSR                              | -                    | No especifica.  | 9.5     | Verificar la exactitud del transductor de torque y desplazamiento angular cada vez que el DSR se instala por primera vez, se traslade, cada seis meses, cuando la temperatura offset es verificada, y/o cada vez que la exactitud de las mediciones obtenidas sea sospechosa.   | 9.5     | Verificar la exactitud del transductor de torque y desplazamiento angular cada vez que el DSR se instala por primera vez, se traslade, cada seis meses, cuando la temperatura offset es verificada, y/o cada vez que la exactitud de las mediciones obtenidas sea sospechosa.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM            | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM    |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|----------------------------|--|----------------------|---------------------------|---------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                            |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM    | D7175 - 15  | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C79 | Verificación y calibración | Verificación del DSR   | -                    | No especifica.            | Note 12 | Quando se instala por primera vez o reacondiciona el DSR, debe ser verificado semanalmente usando los procedimientos descritos en 9.5 hasta que se demuestre una verificación aceptable. Se recomienda guardar la información en gráficos de control donde las mediciones verificadas han sido graficadas versus la fecha de realización.   | Note 14 | Quando se instala por primera vez o reacondiciona el DSR, debe ser verificado semanalmente usando los procedimientos descritos en 9.5 hasta que se demuestre una verificación aceptable. Se recomienda guardar la información en gráficos de control donde las mediciones verificadas han sido graficadas versus la fecha de realización.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C80 | Verificación y calibración | Verificación del transductor del torque                          | -                    | No especifica.            | 9.5.1   | Verificar la calibración del transductor de torque usando un fluido de referencia o accesorios suministrados por el fabricante cada vez que la calibración del transductor sea sospechosa y/o cuando la viscosidad dinámica medida para el fluido de referencia indique que el transductor de torque no está calibrado.   | 9.5.1   | Verificar la calibración del transductor de torque al menos una vez cada 6 meses, usando un fluido de referencia o accesorios suministrados por el fabricante cada vez que la calibración del transductor sea sospechosa y/o cuando la viscosidad dinámica medida para el fluido de referencia indique que el transductor de torque no está calibrado.  | SI          | NO                 | ASTM           | 2        |
| C81 | Verificación y calibración | Verificación del transductor del torque con fluido de referencia | -                    | No especifica.            | 9.5.1.1 | La viscosidad compleja medida con el DSR será menos de 3 % de la viscosidad capilar según lo informado por el fabricante del fluido de referencia, de lo contrario la calibración del transductor del torque se considera sospechosa. Calcular el viscosidad compleja como el módulo complejo $[G^*]$ dividido por la frecuencia angular en [Rad/s]. Si los requisitos de esta sección no se pueden cumplir, deje de utilizar el dispositivo y consulte al fabricante u otro personal de servicio calificado. | 9.5.1.1 | La viscosidad compleja medida con el DSR será menos de 3 % de la viscosidad capilar según lo informado por el fabricante del fluido de referencia, de lo contrario la calibración del transductor del torque se considera sospechosa. Calcular el viscosidad compleja como el módulo complejo $[G^*]$ dividido por la frecuencia angular en [Rad/s]. Recomendaciones para el uso del líquido de referencia se entregan en el apéndice X3. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 4        |
| C82 | Verificación y calibración | Verificación del transductor del torque con fluido de referencia | -                    | No especifica.            | 9.5.1.1 | No especifica.  | 9.5.1.1 | Porcentaje de variación $=((\eta_a - \eta_b) / \eta_a) \times 100$<br>$\eta_a$ : Viscosidad capilar del fluido de referencia.<br>$\eta_b$ : Medición de la viscosidad calculada por el módulo complejo, dividida por la frecuencia angular.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C83 | Verificación y calibración | Fluido de referencia   | -                    | No especifica.            | Note 13 | Un fluido de referencia adecuado está disponible en canon Instrument Company como viscosidad estándar número N2700000SP.  | Note 15 | Un fluido de referencia adecuado está disponible en canon Instrument Company como viscosidad estándar número N2700000SP. La viscosidad es entregada en [mPa·s]. Convertir las mediciones de viscosidad a [mPa·s] antes de calcular el porcentaje de variación.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C84 | Verificación y calibración | Verificación del transductor del torque y accesorios             | -                    | No especifica.            | 9.5.1.2 | Verificar la calibración del transductor de torque utilizando accesorios e instrucciones suministradas por el fabricante. Es responsabilidad del fabricante proporcionar adecuadamente los accesorios que no están ampliamente disponibles. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplicará.  | 9.5.1.2 | Verificar la calibración del transductor de torque utilizando accesorios e instrucciones suministradas por el fabricante. Es responsabilidad del fabricante proporcionar adecuadamente los accesorios que no están ampliamente disponibles. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplicará.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C85 | Verificación y calibración | Verificación del transductor angular de desplazamiento           | -                    | No especifica.            | 9.5.2   | Si los accesorios suministrados por el fabricante están disponibles, verifique la calibración cada seis meses y/o cuando la calibración sea sospechosa. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplica.  | 9.5.2   | Si los accesorios suministrados por el fabricante están disponibles, verifique la calibración cada seis meses y/o cuando la calibración sea sospechosa. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplica.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM                   | DESCRIPCIÓN                                       | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------------------|---|----------------------|---|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                                   |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM    | D7175 - 15   | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C86 | Verificación y calibración        | Verificación del DSR                              | -                    | No especifica.  | -       | No especifica.   | 9.5.3   | Si el DSR no puede ser verificado de acuerdo a 9.5. No podrá ser utilizado para ensayar hasta que sea calibrado por el proveedor o algún servicio técnico calificado.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C87 | Preparación de muestras de ensayo | Desgasificación                                   | -                    | No especifica.  | -       | No especifica.   | 10.1.1  | Si el ligante ha sido ensayando de acuerdo a T314 (DT) y acondicionado según T240 (HPDR) y R26 (PAV) desgasificar el ligante asfáltico como se describe en R28 antes de ensayar. De lo contrario, la desgasificación de la muestra no es requerida.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C88 | Preparación de muestras de ensayo | Acondicionamiento del ligante                     | 10.1.a               | No especifica.  | 11.2    | Los platos no pueden ser utilizados para calentar el ligante.  | 10.1.2  | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C89 | Preparación de muestras de ensayo | Acondicionamiento del ligante                     | Nota 7               | Se debe evitar calentar el ligante asfáltico a temperaturas superiores a 135 [°C], sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligante muy envejecidos, se pueden requerir temperaturas de vertido por sobre 135 [°C].  | Note 17 | Se debe evitar calentar el ligante asfáltico a temperaturas superiores a 135 [°C], sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligante muy envejecidos, se pueden requerir temperaturas de vertido por sobre 135 [°C]. | -       | No especifica.  | SI          | M.C. - ASTM        | M.C.           | 5        |
| C90 | Preparación de muestras de ensayo | Acondicionamiento para ligante envejecidos en PAV | -                    | No especifica.  | -       | No especifica.   | Note 17 | Para muestras envejecidas en PAV, el ligante asfáltico puede ser colocado en un horno de vacío acondicionado a 175[°C] durante 40 minutos. Debido a la mala transferencia de calor en el horno de vacío, el ligante no se debe sobrecalentar.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C91 | Preparación de probetas de ensayo | Preparación probeta                               | 10.2                 | Ponga en cero la separación como se describe en 7. Cuidadosamente limpie y seque las superficies de los platos de ensayo, para que la probeta se adhiera a ambos platos uniforme y fuertemente. Lleve la cámara a aproximadamente 45 [°C] cuando use las probetas de 8 [mm]. Lleve la cámara a la temperatura de ensayo o comienzo del rango (ver Nota 4) cuando use las probetas de 25 [mm]. Esto es para precalentar los platos y así permitir la adhesión de la probeta a estos. Prepare una probeta de ensayo usando uno de los métodos especificados en 9.2 a) (Vertido) o 9.2 b) (Molde de silicona). | 11.3    | Transferir el asfalto a los platos de ensayo mediante vertido (11.3.1), transferencia directa (11.3.2), o usando un molde de silicona (11.3.3).  | 10.2    | Ponga en cero la separación como se describe en 8. Cuidadosamente limpie y seque las superficies de los platos de ensayo, para que la probeta se adhiera a ambos platos uniforme y fuertemente. Lleve la cámara a aproximadamente 34 - 46 [°C] cuando use las probetas de 8 [mm]. Lleve la cámara a la temperatura de ensayo o comienzo del rango (ver Nota 6) cuando use las probetas de 25 [mm]. Esto es para precalentar los platos y así permitir la adhesión de la probeta a estos. Prepare una probeta de ensayo usando uno de los métodos especificados en 10.3.1 (vertido), 10.3.2 (Transferencia directa) 10.3.3 (molde silicona). | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C92 | Preparación de probetas de ensayo | Temperatura de la cámara para probetas de 8[mm]   | 10.2                 | 45 [°C]   | -       | No especifica.   | 10.2    | 34 - 46 [°C]  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM                   | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------------------------|---|----------------------|--|---------|--|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                                   |   | ÍTEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ÍTEM    | D7175 - 15   | ÍTEM    | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C93  | Preparación de probetas de ensayo | Transferencia de ligante  | -                    | No especifica.   | -       | No especifica.   | Note 18 | Se prefieren los métodos de transferencia directa y vertido porque los resultados son menos influenciados por el endurecimiento estérico que con el molde de silicona. De la transferencia directa y vertido se obtienen temperaturas más altas del ligante cuando los platos y el ligante son puestos en contacto, lo que mejora la adherencia. Por esta razón es importante poner en contacto con prontitud las placas con el ligante.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C94  | Preparación de probetas de ensayo | Vertido   | 10.2.a               | No especifica.   | 11.3.1  | Solo para reómetro diseñados para remover los platos sin afectar la distancia inicial (Gap) establecida.   | 10.3.1. | Solo para reómetro diseñados para remover los platos sin afectar el cero establecido.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C95  | Preparación de probetas de ensayo | Vertido, distancia desde el contenedor del ligante al plato de ensayo | 10.2.a               | 15 [mm].   | 11.3.1  | 15 - 25 [mm]   | 10.3.1. | 15 [mm]  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C96  | Preparación de probetas de ensayo | Transferencia directa   | -                    | No especifica.   | 11.3.2  | Transfiera el ligante caliente a uno de los platos usando una varilla de vidrio o metal, espátula o herramienta similar. Inmediatamente después de la transferencia continúe con 11.4 para cortar la probeta y 11.5 para generar la protuberancia.   | 10.3.2  | Transfiera el ligante caliente a uno de los platos usando una varilla de vidrio o metal, espátula o herramienta similar. Inmediatamente después de la transferencia continúe con 10.4 para cortar la probeta y generar la protuberancia.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C97  | Preparación de probetas de ensayo | Transferencia directa   | -                    | No especifica.   | Note 18 | Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 [mm]. | Note 20 | Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 [mm]. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C98  | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona   | 10.2.b               | No especifica.   | 11.3.3  | No cortar la superficie del ligante.   | 10.3.3  | No especifica.   | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| C99  | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona   | 10.2.b               | No especifica.   | 11.3.3  | No especifica.   | 10.3.3  | Tapar el molde, mientras se enfría para evitar que se contamine.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C100 | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona, montaje de la probeta en los platos                | 10.2.b               | Remover la probeta del molde y centrarla en el plato inferior del DSR. | 11.3.3  | Remover la probeta del molde.  | 10.3.3  | Para montar la probeta en el plato, extraer la pieza del molde y centrarlo en el plato inferior del DSR. Para montarlo en el plato superior, centrar el molde en el plato superior y luego cuidadosamente remover el molde de silicona y dejar que la probeta se adhiera al plato superior.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM                   | DESCRIPCIÓN                                 | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |   | AASHTO   |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------------------------|---|----------------------|---|---------|---|----------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                                   |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM    | D7175 - 15  | ITEM     | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C101 | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona                           | Nota 9               | El molde lleno puede ser enfriado en un congelador para facilitar el desmolde de ligante asfálticos de grados blandos. Enfríe el molde en el congelador sólo el tiempo mínimo necesario para facilitar el desmolde de la probeta. | 11.3.3  | Enfriar a una temperatura inferior a la temperatura ambiente resulta un comportamiento térmico desconocido el cual puede afectar la medición del módulo y ángulo de fase. Enfriamiento excesivo puede generar humedad en la superficie del ligante que interfiere en la adhesión de la probeta con el plato.  | 10.3.3.1 | Enfriar a una temperatura inferior a la temperatura ambiente resulta un comportamiento térmico desconocido el cual puede afectar la medición del módulo y ángulo de fase. Enfriamiento excesivo puede generar humedad en la superficie del ligante que interfiere en la adhesión de la probeta con el plato.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C102 | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona, solventes                | -                    | No especifica.  | Note 19 | Solventes no deben ser utilizados para limpiar los moldes de silicona. Limpie los moldes con algún paño limpio para remover cualquier residuo de asfalto. Los moldes con el uso se vuelven pegajosos, si esto comienza a ser un problema descártelos.   | Note 21  | Solventes no deben ser utilizados para limpiar los moldes de silicona. Limpie los moldes con algún paño limpio para remover cualquier residuo de asfalto. Los moldes con el uso se vuelven pegajosos, si esto comienza a ser un problema descártelos.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C103 | Preparación de probetas de ensayo | Molde de silicona                           | -                    | No especifica.  | Note 20 | Algunos grados de asfaltos no pueden ser removido desde el molde de silicona sin ser enfriados. Materiales como PG 52-34, PG 46-34, y algunos PG 58-34. Si la muestra no puede ser removida desde el molde sin ser enfriada es recomendable utilizar el método de transferencia directa.  | Note 22  | Algunos grados de asfaltos no pueden ser removido desde el molde de silicona sin ser enfriados. Materiales como PG 52-34, PG 46-34, y algunos PG 58-34. Si la muestra no puede ser removida desde el molde sin ser enfriada es recomendable utilizar el método de transferencia directa.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C104 | Preparación de probetas de ensayo | Corte de la probeta, gap                    | 10.3.a               | Separación de la probeta ± 0,05 [mm].   | 11.4    | Gap de ensayo + gap requerido para formar la protuberancia.   | 10.4     | Gap de ensayo + gap requerido para formar la protuberancia.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C105 | Preparación de probetas de ensayo | Corte de la probeta                         | 10.3.a               | Espátula adecuada en caliente, la cual puede ser calentada con una plancha o en una llama.  | Note 21 | La herramienta de corte debe estar a una temperatura que sea suficientemente elevada para permitir el corte, pero no excesivamente para pirolizar el borde de la probeta.   | Note 23  | La herramienta de corte debe estar a una temperatura que sea suficientemente elevada para permitir el corte pero no excesivamente para quemar el borde de la probeta. Tampoco puede estar excesivamente fría para enganchar o dañar los bordes de la probeta.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| C106 | Preparación de probetas de ensayo | Creación de la protuberancia, gap requerido | -                    | No especifica.  | 11.5    | Luego de realizar el corte, disminuir el gap en la cuantía necesaria para formar una ligera protuberancia en la cara exterior de la muestra. La distancia necesaria para crear una protuberancia en el reómetro específico depende de factores tales como, el diseño del reómetro y la diferencia entre temperatura de corte y de ensayo. Una recomendación práctica para verificar la reducción de la distancia requerida para formarla está dada en Appendix X3. Los valores comunes de distancia son 0,05 [mm] para el plato de 25 [mm] y 0,10 [mm] para el de 8 [mm]. | 10.5     | Luego de realizar el corte, disminuir el gap en la cuantía necesaria para formar una ligera protuberancia en la cara exterior de la muestra. La distancia necesaria para crear una protuberancia en el reómetro específico depende de factores tales como, el diseño del reómetro y la diferencia entre temperatura de corte y de ensayo. Una recomendación práctica para verificar la reducción de la distancia requerida para formar una protuberancia está dada en Appendix X8, X9 y X10. Los valores comunes de distancia son 0,05 [mm] para el plato de 25 [mm] y 0,10 [mm] para el de 8 [mm]. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM                   | DESCRIPCIÓN                           | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|--|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                                   |                                       | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM    | D7175 - 15   | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C107 | Preparación de probetas de ensayo | Cálculo del módulo complejo           | -                    | No especifica.   | Note 22 | El módulo complejo es calculado considerando que el diámetro de la muestra es igual al diámetro del plato. Si el ligante forma una superficie cóncava en los bordes exteriores, esta consideración no es válida y el módulo de corte será subestimado. El cálculo del módulo de corte está basado en el radio del plato elevado a la cuarta potencia. Se recomienda una protuberancia aproximada igual a la cuarta parte de la distancia. El procedimiento para determinar la distancia requerida para formar un gap aceptable se entrega en el Apéndice X3. | Note 25 | El módulo complejo es calculado considerando que el diámetro de la muestra es igual al diámetro del plato. Si el ligante forma una superficie cóncava en los bordes exteriores, esta consideración no es válida y el módulo de corte será subestimado. El cálculo del módulo de corte está basado en el radio del plato elevado a la cuarta potencia. Se recomienda una protuberancia aproximada igual a la cuarta parte de la distancia. Un procedimiento para determinar la distancia requerida para formar un gap aceptable se da en el Apéndice X8, X9 y X10. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C108 | Procedimiento                     | Distancia de separación               | Nota 11              | La separación debiera ajustarse al inicio de la temperatura de ensayo (ver 10.1a) o al medio del rango de temperatura de ensayo esperada (ver 10.1b). Vea la Nota 4 para guiarse en el ajuste de la separación. Típicamente se obtienen resultados de ensayo confiables con una sola muestra, en un plato de 8 a 25 [mm], usando temperaturas alrededor de 12[°C] de la temperatura a la cual se ajustó la separación. | -       | No especifica.   | Nota 26 | La separación debiera ajustarse al inicio de la temperatura de ensayo (ver 11.1.1) o al medio del rango de temperatura de ensayo esperada (ver 11.1.2). Vea la Nota 5 para guiarse en el ajuste de la separación. Típicamente se obtienen resultados de ensayo confiables con una sola muestra, en un plato de 8 a 25 [mm], usando temperaturas alrededor de 12[°C] de la temperatura a la cual se ajustó la separación.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C109 | Procedimiento                     | Inicio del ensayo                     | 11.2                 | El ensayo se iniciará sólo después de que la lectura ha permanecido a la temperatura deseada $\pm 0,1$ [°C], por al menos 10 minutos.  | 12.1    | El ensayo debe comenzar 5 -10 minutos después de alcanzar el equilibrio térmico.   | 11.2    | El ensayo se iniciará sólo después que la lectura ha permanecido a la temperatura deseada $\pm 0,1$ [°C], por al menos 10 minutos.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C110 | Procedimiento                     | Temperatura de ensayo                 | 11.1.b               | Cuando realice un barrido de temperaturas, inicie el ensayo al medio del rango y aumente o disminuya la temperatura de ensayo hasta cubrir el rango deseado de temperaturas.   | 12.1.2  | Cuando se ensayarán varias temperaturas, comenzar de la menor para los platos de 25 [mm] y de la más alta para los platos de 8[mm].  | 11.1.2  | Cuando realice un barrido de temperaturas, inicie el ensayo al medio del rango y aumente o disminuya la temperatura de ensayo hasta cubrir el rango deseado de temperaturas.  | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C111 | Procedimiento                     | Tiempo para alcanzar el equilibrio    | Nota 12              | No especifica.   | Note 23 | El método para determinar el tiempo correcto de equilibrio térmico se describe en Apéndice X4.   | Note 27 | El método para determinar el tiempo correcto de equilibrio térmico se describe en Apéndice X12.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C112 | Procedimiento                     | Control de deformación                | 11.3                 | Controle la deformación dentro del 20 % del valor dado por la ecuación 1.<br>$\gamma$ [%] = $12,0 / (G^*)^{0,29}$<br>donde:<br>y: Deformación de corte [%].<br>G*: Módulo complejo [kPa].  | -       | No especifica.   | 11.3    | Controle la deformación dentro del 20 % del valor dado por la ecuación 1.<br>$\gamma$ [%] = $12,0 / (G^*)^{0,29}$<br>donde:<br>y: Deformación de corte [%].<br>G*: Módulo complejo [kPa].   | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C113 | Procedimiento                     | Control de tensión                    | 11.4                 | Controle la tensión dentro del 20% del valor calculado por la ecuación<br>$\tau = 0,12 (G^*)^{0,71}$<br>donde:<br>r: Tensión de corte [kPa].<br>G*: Módulo complejo [kPa].   | -       | No especifica.   | 11.4    | Controle la tensión dentro del 20% del valor calculado por la ecuación<br>$\tau = 0,12 (G^*)^{0,71}$<br>donde:<br>r: Tensión de corte [kPa].<br>G*: Módulo complejo [kPa].  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| C114 | Procedimiento                     | Control de tensión, inicio de ensayo  | 11.5                 | No especifica.   | 12.2    | 5 -10 minutos alcanzado el equilibrio.   | 11.5    | No especifica   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C115 | Procedimiento                     | Control de tensión, tensión requerida | 11.5                 | 10 ciclos con frecuencia de 10 [Rad/s].  | 12.3    | 8 -16 ciclos con frecuencia de 10 [Rad/s].   | 11.5    | 10 ciclos o un rango requerido de 8-16 con frecuencia de 10 [Rad/s].  | SI          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM              | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|------------------------------|--|----------------------|---|---------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                              |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM    | D7175 - 15  | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C116 | Procedimiento                | Control de tensión, ensayo a múltiples temperaturas  | 11.7                 | Todos los ensayos deben realizarse dentro de 4 horas.   | 12.2    | Todos los ensayos deben realizarse dentro de 2 horas.   | 11.7    | Todos los ensayos deben realizarse dentro de 4 horas.   | SI          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C117 | Procedimiento                | Niveles objetivos de tensión   | Tabla 8.302.22. C    | Residuo cámara de presión<br>Nivel de tensión: 50 [kPa]<br>Tensión Rango: 40 - 60 [kPa]   | Table 2 | Residuo cámara de presión<br>Nivel de tensión: 500 [kPa]<br>Tensión Rango: 400 - 600 [kPa]      | Table 3 | Residuo cámara de presión<br>Nivel de tensión: 50 [kPa]<br>Tensión Rango: 40 - 60 [kPa]   | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| C118 | Interpretación de resultados | Definición de región lineal  | 12.2                 | Rango de deformación donde el módulo complejo es 95 [%] o más del valor de deformación cero.  | 13      | Rango de deformación donde el módulo complejo es 90 [%] o más del valor de deformación inicial. | 12.2    | Rango de deformación donde el módulo complejo es 95 [%] o más del valor de deformación cero.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| C119 | Interpretación de resultados | Tensión de corte   | 12.3                 | La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensayo. | -       | No especifica.  | 12.3    | La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensayo. | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| C120 | Informe                      | Instrumentación  | 13.2                 | Describe el instrumento usado para el ensayo, incluyendo marca, modelo, si se realizó en un reómetro a deformación o tensión constante, tipo de cámara ambiental y cualquier otra información necesaria para describir el reómetro.   | -       | No especifica.  | 13.2    | Describe el instrumento usado incluyendo el número del modelo.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C121 | Informe                      | Aproximación   | -                    | No especifica.  | 14.1.14 | No especifica.  | 13.4.7  | $G^*/\sin(\delta)$ , con precisión de 0.01 [kPa].   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C122 | Informe                      | Aproximación   | -                    | No especifica.  | 14.1.15 | No especifica.  | 13.4.7  | $G^* \sin(\delta)$ aproximado al entero.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C123 |                              | Un operador - Asfalto original $G^*/\sin\delta$ [kPa], coeficiente de variación (1s%)<br>Un operador - Residuo HPDR-HPD $G^*/\sin\delta$ [kPa], coeficiente de variación (1s%)<br>Un operador - Residuo PAV $G^*/\sin\delta$ [kPa], coeficiente de variación (1s%)<br>Un operador - Asfalto original $G^*/\sin\delta$ [kPa], rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%)<br>Un operador - Residuo HPDR-HPD $G^*/\sin\delta$ [kPa], rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%) | Tabla 8.302.22. D    | 3,4<br>3,9<br>7,9<br>9,5<br>11,0  | Table 3 | 2,3<br>3,2<br>4,9<br>6,4<br>9,0   | Table 4 | 2,3<br>3,2<br>4,9<br>6,4<br>9,0   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-------------------|--|----------------------|---------------------------|--------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                   |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D7175 - 15  | ITEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
|      |                   | Un operador - Residuo PAV G*/sinδ [kPa, rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%)            |                      | 22,4                      |        | 13,8  |         | 13,8  |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Asfalto original G*/sinδ[kPa], coeficiente de variación (1s%)                    |                      | 10,3                      |        | 6,0   |         | 6,0   |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Residuo HPDR-HPD G*/sinδ [kPa, coeficiente de variación (1s%)                    |                      | 11,1                      |        | 7,8   |         | 7,8   |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Residuo PAV G*/sinδ [kPa, coeficiente de variación (1s%)                         |                      | 19,8                      |        | 14,2  |         | 14,2  |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Asfalto original G*/sinδ[kPa], rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%) |                      | 29,1                      |        | 17,0  |         | 17,0  |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Residuo HPDR-HPD G*/sinδ [kPa, rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%) |                      | 31,3                      |        | 22,2  |         | 22,2  |             |                    |                |          |
|      |                   | Multi-Laboratorio - Residuo PAV G*/sinδ [kPa, rango de aceptabilidad para dos resultados (d2s%)      |                      | 56,1                      |        | 40,2  |         | 40,2  |             |                    |                |          |
| C124 | Precisión y sesgo | Base del estudio   | -                    | No hace referencia.       | 15.1.1 | Las precisiones estimadas dadas en la tabla 3, están basadas en el análisis de los resultados de ensayos obtenidos en 185 a 208 laboratorios para 8 pares de AMRL. El análisis incluye 5 grados de ligantes: PG 52 - 34, PG 64 -16, PG 64 -22, PG 70 - 22, y PG 76 - 22 (SBS modificado). Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3. | Note 29 | Las precisiones estimadas dadas en la tabla 4 están basadas en un análisis de resultados de ensayos desde 8 pares de AMRL ejemplos competentes. La información analizada consiste en resultados de 185 a 208 laboratorios para cada 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante: PG 52 - 34, PG 64 - 16, PG 64 - 22, PG 70 - 22, y PG 76 - 22 (SBS modificado). El promedio original obtenido para G*/sin(δ) es desde 1,067 [kPa] a 2,342 [kPa]. Promedio de los resultados del residuo del RTFO para G*/sin(δ) va desde 2,274 [kPa] a 7,733 [kPa]. Promedio proveniente de los resultados obtenidos del residuos del PAV para G*/sin(δ) van desde 110 [kPa] a 4557 [kPa]. Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM                            | DESCRIPCIÓN                               | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM      |  | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|--|---|----------------------|---|-----------|--|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |  |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM      | D7175 - 15   | ITEM    | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C125 | Precisión y sesgo                          | Ejemplo                                   | -                    | No hace referencia.   | -         | No hace referencia.  | Nota 30 | Como ejemplo, dos ensayos realizados al mismo residuo de PAV con resultados de 1200 [kPa] y 1300 [kPa], respectivamente. El promedio de esas dos mediciones es 1250[kPa]. Un rango aceptable para el resultado es del 13,8% de 1250 [kPa] o 173 [kPa]. Como la diferencia entre 1200 [kPa] y 1300 [kPa] es menor que 173 [kPa], los resultados están dentro del rango aceptable. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C126 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Deformación final                         | A1.2.2.a             | 30 %.   | X1.1      | Ej. 52, 58,64, 70,76 o 82 [°C]. La determinación está basada en el cambio del módulo complejo de corte a 10 [rad/s] cuando la deformación aumenta desde 2 a 12 %.  | X1.1.1  | Ej. 52, 58,64, 70,76 o 82 [°C]. La determinación está basada en el cambio del módulo complejo de corte a 10 [rad/s] cuando la deformación aumenta desde 2 a 12 %.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C127 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Verificación de DSR                       | -                    | No especifica.  | -         | No especifica.   | X1.2.1  | De acuerdo a la sección 10.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C128 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Tensión final                             | A1.2.2.b             | Tensión final [kPa] = Tensión inicial x 15.   | -         | No especifica.   | -       | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| C129 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Preparación de la muestra                 | A.1.2.3              | De acuerdo a 10. Procedimiento de ensayo, con la modificación en la sección A1.2.2. Para realizar el ensayo de barrido por tensión o deformación.   | X1.2.2    | Preparar la muestra para ser ensayada en los platos de 25 [mm] como en la sección 11 (ASTM D 7175 PREPARING TEST SPECIMENS). Seleccionar la temperatura de ensayo de grado mayor para el ligante en cuestión.  | X1.2.3  | Preparar la muestra para ser ensayada en los platos de 25 [mm] como en la sección 11 (ASTM D7175 PREPARING TEST SPECIMENS). Seleccionar la temperatura de ensayo de grado mayor para el ligante en cuestión.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C130 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Módulo complejo de corte                  | -                    | No especifica.  | X1.2.3    | Determinar el módulo complejo de corte a 2 y 12 % de la deformación siguiendo los procedimientos descritos en la sección 12 excepto las descritas debajo. Siempre comenzar con la menor deformación a la mayor.  | X1.1.4  | Determinar el módulo complejo de corte a 2 y 12% de deformación siguiendo los procedimientos descritos en la sección 12 excepto las descritas debajo. Siempre comenzar con la menor deformación a la mayor.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C131 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Reómetros de tensión controlada           | -                    | No especifica.  | X1.2.3.2  | Para reómetro de tensión controlada, calcular la tensión inicial basada en el módulo complejo de corte, G' y esfuerzo de corte τ, como se determinó a la mayor temperatura del grado mayor de la clasificación del ligante. A esta temperatura el módulo de complejo de corte G' será ≥ 1.00 [kPa] y el esfuerzo de corte τ, estará entre 0,09 y 0,15 [kPa] (ver tabla 2). | X1.4    | Para reómetro de tensión controlada, calcular la tensión inicial basada en el módulo complejo de corte, G' y esfuerzo de corte τ, como se determinó a la mayor temperatura del grado mayor de la clasificación del ligante. A esta temperatura el módulo de complejo de corte G' será ≥ 1.00 [kPa] y el esfuerzo de corte τ, estará entre 0,09 y 0,15 [kPa] (ver tabla 2).       | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C132 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Ejemplo                                   | Nota A1.1            | Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con G* = 1,290 al 12% de deformación. 12 % de tensión = 1,290 * 0,12 = 0,1548 kPa. Tensión de inicio = 0,1548/6 = 0,0258 kPa. Tensión final = 0,0258 * 15 = 0,387 kPa. | Note X1.1 | Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con G* = 1,290 a 64[°C] y τ = 0,135[kPa]. Tensión inicial = 0,135[kPa]/6 = 0,225 [kPa]. Ensayar a 0,225; 0,450; 0,675; 0,900; 1,13 y 1,35 [kPa].  | Note X1 | Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con G* = 1,290 a 64[°C] y τ = 0,135[kPa]. Tensión inicial = 0,135[kPa]/6 = 0,225 [kPa]. Ensayar a 0,225; 0,450; 0,675; 0,900; 1,13 y 1,35 [kPa].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C133 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Gráfico de módulo complejo vs deformación | -                    | No especifica.  | X1.3      | Prepare el gráfico del módulo complejo de corte versus el porcentaje de deformación que muestra la Fig.6.  | X1.5    | Prepare el gráfico del módulo complejo de corte versus el porcentaje de deformación que muestra la Fig.4, determine el módulo complejo de corte a 2 y 12 % de la deformación.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM                            | DESCRIPCIÓN             | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM     |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|--|-------------------------|----------------------|---|----------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |  |                         | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003)   | ITEM     | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C134 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Razón del módulo        | -                    | No especifica.  | X1.4     | Calcular la razón del módulo como el módulo complejo de corte al 12 % de deformación dividido por el módulo complejo de corte a 2 % de deformación.  | X1.6.1 | Calcular la razón del módulo como el módulo complejo de corte al 12 % de tensión dividido por el módulo complejo de corte a 2 % de la deformación.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C135 | Linealidad de ensayo de ligante asfálticos | Interpretación de datos | A1.4.1               | 0.9 G* al nivel de deformación mínimo de 2 %.   | X1.6     | Las mediciones han sido realizadas en un rango no lineal del material, si la razón del módulo es calculada como en X1.4 es < 0,9 y lineal si es ≥ 0,9.   | X1.8.1 | Las mediciones han sido realizadas en un rango no lineal del material, si la razón del módulo es calculada como en X1.6.1 es < 0,9 y lineal si es ≥ 0,9.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C136 |  |                         | A1.4.2               | Determine G* al 12 % de deformación.  |          |  |        |  |             | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C137 |  |                         | A1.4.3               | Considere el material lineal si G* (al 12 % de deformación) > 0,9 G* (al 2% deformación). Si no, el material se considera no lineal y los resultados obtenidos bajo el presente método no serán aplicables a la especificación de ligante en 8.301.8. |          |  |        |  |             | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| C138 | Gráficos de control.                       | Aplicación              | -                    | No especifica.  | X2.1     | Los gráficos de control son comúnmente utilizados por varias industrias, incluyendo la industria vial, para controlar la calidad de los productos. Los gráficos de control proporcionan un medio para organizar, mantener e interpretar datos de prueba. Como tal, los gráficos de control son un excelente medio para organizar, mantener, e interpretar los datos de prueba de verificación del DSR. Los procedimientos formales basados en principios estadísticos se utilizan para desarrollar gráficas de control y los procesos de decisión forman parte del control de calidad estadístico. | X2.1.1 | Los gráficos de control son comúnmente utilizados por varias industrias, incluyendo la industria vial, para controlar la calidad de los productos. Los gráficos de control proporcionan un medio para organizar, mantener e interpretar datos de prueba. Como tal, los gráficos de control son un excelente medio para organizar, mantener, e interpretar los datos de prueba de verificación del DSR. Los procedimientos formales basados en principios estadísticos se utilizan para desarrollar gráficas de control y los procesos de decisión forman parte del control de calidad estadístico. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C139 | Gráficos de control                        | Descripción             | -                    | No especifica.  | X2.1.1   | Un gráfico de control de calidad es simplemente una representación gráfica de los datos de prueba en el tiempo. Al realizar un gráfico con los resultados obtenidos en el laboratorio para un fluido de referencia, es fácil ver cuándo:   | X2.1.1 | Un gráfico de control de calidad es simplemente una representación gráfica de los datos de prueba en el tiempo. Al realizar un gráfico con los resultados obtenidos en el laboratorio para un fluido de referencia, es fácil ver cuándo:   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C140 | Gráficos de control                        | Descripción             | -                    | No especifica.  | X2.1.1.1 | Las mediciones son controladas y tanto el operador como la máquina están funcionando correctamente.  | X2.1.1 | Las mediciones son controladas y tanto el operador como la máquina están funcionando correctamente.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C141 | Gráficos de control                        | Descripción             | -                    | No especifica.  | X2.1.1.2 | Las mediciones se están volviendo más variable con el tiempo, posiblemente exista un problema con el equipo de prueba o el operador.   | X2.1.1 | Las mediciones se están volviendo más variable con el tiempo, posiblemente exista un problema con el equipo de prueba o el operador.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C142 | Gráficos de control                        | Descripción             | -                    | No especifica.  | X2.1.1.3 | Las mediciones del laboratorio para el fluido están, dentro del promedio, sobre o debajo del valor deseado (fluido de referencia).   | X2.1.1 | Las mediciones del laboratorio para el fluido están, dentro del promedio, sobre o debajo del valor deseado (fluido de referencia).   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C143 | Gráficos de control                        | Software                | -                    | No especifica.  | X2.1.2   | Muchos software excelentes están disponibles para realizar y mantener los gráficos de control. Algunos paquetes computarizados de análisis estadísticos contienen procedimientos que permiten realizar gráficos de control. Las hojas de cálculo como Excel también pueden ser utilizadas para formar los gráficos y por supuesto, también se pueden realizar manualmente.   | X2.1.1 | Muchos software excelentes están disponibles para realizar y mantener los gráficos de control. Algunos paquetes computarizados de análisis estadísticos contienen procedimientos que permiten realizar gráficos de control. Las hojas de cálculo como Excel también pueden ser utilizadas para formar los gráficos y por supuesto, también se pueden realizar manualmente.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM     | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---------------------|---|----------------------|---------------------------|--------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                     |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C144 | Gráficos de control | Cuidado en la selección de información  | -                    | No especifica.            | X2.1.3 | Los datos utilizados para generar los gráficos de control deben obtenerse con cuidado. La idea de la aleatoriedad es importante, pero no debe complicarse innecesariamente. Un ejemplo demostrará por qué se necesita una muestra aleatoria. Un laboratorio siempre mide el fluido de referencia al inicio del turno o jornada de trabajo. Estas mediciones pueden ser producto de errores en la puesta en marcha, tales como la falta de estabilidad en la temperatura cuando el dispositivo se enciende. La muestra aleatoria asegura que la medición es representativa del proceso o del material ensayado. Dicho de otra manera, una muestra aleatoria tiene la misma probabilidad de ser realizada, medida como cualquier otra muestra. Una medida o una muestra tomada siempre al principio o al final del día, o justo antes del descanso, no tiene esta oportunidad. | X2.2.1 | Los datos utilizados para generar los gráficos de control deben obtenerse con cuidado. La idea de la aleatoriedad es importante, pero no debe complicarse innecesariamente. Un ejemplo demostrará por qué se necesita una muestra aleatoria. Un laboratorio siempre mide el fluido de referencia al inicio del turno o jornada de trabajo. Estas mediciones pueden ser producto de errores en la puesta en marcha, tales como la falta de estabilidad en la temperatura cuando el dispositivo se enciende. La muestra aleatoria asegura que la medición es representativa del proceso o del material ensayado. Dicho de otra manera, una muestra aleatoria tiene la misma probabilidad de ser realizada, medida como cualquier otra muestra. Una medida o una muestra tomada siempre al principio o al final del día, o justo antes del descanso, no tiene esta oportunidad. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C145 | Gráficos de control | Ejemplo   | -                    | No especifica.            | X2.2   | La funcionalidad de los gráficos de control se ilustra en la Tabla X2.1 utilizando los datos de verificación obtenidos para el DSR. Otra toma de datos adecuada para la verificación del DSR y realización de gráficos de control incluye mediciones para determinar la temperatura de corrección, calibración del termómetro electrónico y el mantenimiento de la información generada internamente de las muestras de referencia del ligante asfáltico. Para este ejemplo la viscosidad reportada para el fluido de referencia es 271 [Pa·s] y por lo tanto el valor calculado para G* es 2,71 [kPa]. Este valor de G* es etiquetado como "G*" del fluido de referencia" en la Fig.X2.1 El laboratorio debe obtener este valor en el promedio si no hay un sesgo de laboratorio.   | X3.1   | La funcionalidad de los gráficos de control se ilustra en la Tabla X3.1 utilizando los datos de verificación obtenidos para el DSR. Otra toma de datos adecuada para la verificación del DSR y realización de gráficos de control incluye mediciones para determinar la temperatura de corrección, calibración del termómetro electrónico, el mantenimiento de la información generada internamente de las muestras de referencia del ligante asfáltico. Para este ejemplo la viscosidad reportada para el fluido de referencia es 271 [Pa·s] y por lo tanto el valor calculado para G* es 2,71 [kPa]. Este valor de G* es etiquetado como " G* " a partir de fluido de referencia " en la Fig.X3.1. El laboratorio debe obtener este valor en el promedio si no hay un sesgo de laboratorio.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C146 | Gráficos de control | Comparación del promedio de los resultados obtenidos en el laboratorio para G* durante 22 semanas con el valor calculado a partir del líquido de referencia | -                    | No especifica.            | X2.2.1 | EL promedio de las mediciones de laboratorio durante 22 semanas se determina como "Promedio de laboratorio en 22 semanas" en la Fig. X2.1. Durante las 22 semanas en que se realizaron las mediciones el promedio fue de 2,73 [kPa]. Esto se compara favorablemente con el valor de referencia calculado, 2,71 [kPa], que difieren del promedio en un 0,7 [%]. El sesgo de laboratorio es pequeño para estos datos.  | X3.2.1 | El promedio de las mediciones de laboratorio durante 22 semanas se determina como "Promedio de laboratorio en 22 semanas" en la Fig. X3.1. Durante las 22 semanas en que se realizaron las mediciones el promedio fue de 2,73 [kPa]. Esto se compara favorablemente con el valor de referencia calculado, 2,71 [kPa], que difieren del promedio en un 0,7 [%]. El sesgo de laboratorio es pequeño para estos datos.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM     | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM     |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---------------------|---|----------------------|---------------------------|----------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                     |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM     | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C147 | Gráficos de control | Comparación entre el Coeficiente de variación de las mediciones del laboratorio con el Coeficiente de variación de <i>Round Robin</i> | -                    | No especifica.            | X2.2.2   | A partir de estudios previos de <i>Round Robin</i> la desviación estándar dentro del laboratorio (d1s) para el fluido fue 0,045 (CV = 1,67 [%]). La desviación estándar de 22 semanas para G* es 0,051 (CV = 1,86 [%]), en comparación con 0,045 (CV = 1,67 [%]) de <i>Round Robin</i> . Sin embargo, debe señalarse que el de 22 semanas (CV = 1,86 [%]), también incluye el día a día de la variabilidad, un componente de la variabilidad no incluido en el valor de la d1s <i>Round Robin</i> . Basado en esta información, la variabilidad de las mediciones de laboratorio es aceptable.                       | X3.3.1 | A partir de estudios previos de <i>Round Robin</i> la desviación estándar dentro del laboratorio (d1s) para el fluido fue 0,045 (CV = 1,67 [%]). La desviación estándar de 22 semanas para G* es 0,051 (CV = 1,86 [%]), en comparación con 0,045 (CV = 1,67 [%]) de <i>Round Robin</i> . Sin embargo, debe señalarse que el de 22 semanas (CV = 1,86 [%]), también incluye el día a día de la variabilidad, un componente de la variabilidad no incluido en el valor de la d1s <i>Round Robin</i> . Basado en esta información, la variabilidad de las mediciones de laboratorio es aceptable.                     | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C148 | Gráficos de control | Variabilidad de los valores obtenidos   | -                    | No especifica.            | X2.2.3   | En la Fig.X2.1, el valor de G* calculado a partir del fluido de referencia se muestra como una línea sólida. También se muestran dos líneas discontinuas que representan el G* calculado a partir del fluido de referencia $\pm 2d1s$ donde d1s es el valor de <i>Round Robin</i> . El valor de referencia calculado para el fluido es 2,71 [kPa] y la desviación estándar es 0,045. Por lo tanto, una desviación de 2d1s da valores de:   | X3.4.1 | En la Fig.X3.1, el valor de G* calculado a partir del fluido de referencia se muestra como una línea sólida. También se muestran dos líneas discontinuas que representan el G* calculado a partir del fluido de referencia $\pm 2d1s$ donde d1s es el valor de <i>Round Robin</i> . El valor de referencia calculado para el fluido es 2,71 [kPa] y la desviación estándar es 0,045. Por lo tanto, una desviación de 2d1s da valores de:   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C149 | Gráficos de control | Variabilidad de los valores obtenidos   | -                    | No especifica.            | X2.1     | 2,71 [kPa] $\pm$ (2) (0,045) = 2,80 [kPa]; 2,62 [kPa]  | X3.1   | 2,71 [kPa] $\pm$ (2) (0,045) = 2,80 [kPa]; 2,62 [kPa]  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C150 | Gráficos de control | Variabilidad de los valores obtenidos   | -                    | No especifica.            | X2.2.3.1 | Si se controlan los procedimientos de laboratorio, el equipo se calibra correctamente, y no hay sesgo de laboratorio, el 95 [%] de las mediciones debe estar dentro de los límites de 2,62 [kPa] y 2,80 [kPa]. Las mediciones de laboratorio fuera de este rango son sospechosos y la causa de un valor atípico debe ser investigada. El valor atípico puede ser resultado de cualquier ensayo de variabilidad o sesgo del laboratorio. La medición de la semana 10 en la Fig. X2.1 cae fuera de los límites $\pm 2d1s$ y es motivo de sospecha, por lo tanto se debe investigar el procedimiento y la verificación. | X3.4.1 | Si se controlan los procedimientos de laboratorio, el equipo se calibra correctamente, y no hay sesgo de laboratorio, el 95 [%] de las mediciones debe estar dentro de los límites de 2,62 [kPa] y 2,80 [kPa]. Las mediciones de laboratorio fuera de este rango son sospechosos y la causa del valor atípico debe ser investigada. El valor atípico puede ser resultado de cualquier ensayo de variabilidad o sesgo del laboratorio. La medición de la semana 10 en la Fig. X3.1 cae fuera de los límites $\pm 2d1s$ y es motivo de sospecha, por lo tanto se debe investigar el procedimiento y la verificación. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C151 | Gráficos de control | Variabilidad de los valores obtenidos   | -                    | No especifica.            | X2.2.3.2 | Si una medición se desvía del valor esperado, en este caso G* del fluido de referencia, por más de $\pm 3d1s$ , se debe iniciar una acción correctiva. Los límites $\pm 3 d1s$ 99,7 [%] de los valores medidos si los procedimientos de laboratorio están bajo control y el equipo está correctamente calibrado.   | X3.4.1 | Si una medición se desvía del valor esperado, en este caso G* del fluido de referencia, por más de $\pm 3d1s$ , se debe iniciar una acción correctiva. Los límites $\pm 3 d1s$ 99,7 [%] de los valores medidos si los procedimientos de laboratorio están bajo control y el equipo está correctamente calibrado.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM              | DESCRIPCIÓN                                     | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|------------------------------|---|----------------------|---------------------------|--------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                              |   | ÍTEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ÍTEM   | D7175 - 15   | ÍTEM   | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C152 | Gráficos de control          | Tendencias en los resultados                    | -                    | No específica.            | X2.2.4 | El gráfico de control también puede ser utilizado para identificar las tendencias no deseadas en los datos. Por ejemplo de la semana 1 a la 5 se observó una disminución constante en el valor medido. Esto es preocupante y el motivo de la tendencia debe ser investigada. Normas más sofisticadas para el análisis de las tendencias en los gráficos de control se pueden encontrar fácilmente.   | X3.5.1 | El gráfico de control también puede ser utilizado para identificar las tendencias no deseadas en los datos. Por ejemplo de la semana 1 a la 5 se observó una disminución constante en el valor medido. Esto es preocupante y el motivo de la tendencia debe ser investigada. Normas más sofisticadas para el análisis de las tendencias en los gráficos de control se pueden encontrar fácilmente.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C153 | Uso del fluido de referencia | Fuente de fluido de referencia                  | -                    | No específica.            | A1.1   | Un polímero orgánico producido por <i>Cannon Instrument Company</i> con viscosidad estándar N270000SP ha sido encontrado adecuado como fluido de referencia para calibrar el DSR. La viscosidad del fluido, como lo determina <i>NIST-traceable capillary viscosity measurements</i> , es aproximadamente 270 [Pa·s] a 64 [°C], de todos modos, la viscosidad del fluido varía de un lote a otro. La viscosidad específica del lote está impreso en la etiqueta de la botella. | X4.2   | Un polímero orgánico producido por <i>Cannon Instrument Company</i> con viscosidad estándar N270000SP ha sido encontrado adecuado como fluido de referencia para calibrar el DSR. La viscosidad del fluido, como lo determina <i>NIST-traceable capillary viscosity measurements</i> , es aproximadamente 270 [Pa·s] a 64 [°C], de todos modos, la viscosidad del fluido varía de un lote a otro. La viscosidad específica del lote está impreso en la etiqueta de la botella. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C154 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2   | Algunos puntos que se deben considerar al usar este fluido son:  | X5.1   | Algunos puntos que se deben considerar al usar este fluido son:  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C155 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.1 | El fluido no se puede utilizar para verificar la exactitud de la medición del ángulo de fase.  | X5.1   | El fluido no se puede utilizar para verificar la exactitud de la medición del ángulo de fase.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C156 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.2 | El fluido no debe climatizarse con calefacción, se puede degradar el fluido causando un cambio en su viscosidad.   | X5.1   | El fluido no debe climatizarse con calefacción, se puede degradar el fluido causando un cambio en su viscosidad.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C157 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.3 | El líquido debe ser utilizado para la verificación sólo después de que la medición de temperatura del DSR se haya verificado.  | X5.1   | El líquido debe ser utilizado para la verificación sólo después de que la medición de temperatura del DSR se haya verificado.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C158 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.4 | No utilizar el fluido para calibrar el torque del transductor, debe ser realizado por el fabricante u otro servicio calificado usando un calibrador diseñado especialmente para el reómetro. Estos aparatos de calibración no suelen estar disponibles en los laboratorios.  | X5.1   | No utilizar el fluido para calibrar el torque del transductor, debe ser realizado por el fabricante u otro servicio calificado usando un calibrador diseñado especialmente para el reómetro. Estos aparatos de calibración no suelen estar disponibles en los laboratorios.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C159 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.5 | Cuando se ensaya a 10 [rad/s], el fluido de referencia sólo se debe utilizar entre 58 y 64 [°C].   | X5.1   | Cuando se ensaya a 10 [Rad/s], el fluido de referencia sólo se debe utilizar a 64[°C], el fluido es viscoelástico a temperaturas inferiores, por lo tanto, la viscosidad, $\eta$ , informada en el certificado de <i>Cannon</i> no coincide con la viscosidad compleja, $\eta^* = G^*/10$ [Rad/s] determinada por la medición.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| C160 | Uso del fluido de referencia | Precauciones en el uso del fluido de referencia | -                    | No específica.            | A1.2.6 | La aparición de burbujas en el fluido tiene un efecto drástico en el valor de la viscosidad. El fluido en la botella debe estar libre de burbujas y se debe tener cuidado de no introducir burbujas en la preparación de las muestras del ensayo. Los procedimientos recomendados para la preparación de muestras de ensayo se dan en A1.4.  | X5.1   | La aparición de burbujas en el fluido tiene un efecto drástico en el valor de la viscosidad. El fluido en la botella debe estar libre de burbujas y se debe tener cuidado de no introducir burbujas en la preparación de muestras de ensayo. Los procedimientos recomendados para la preparación de muestras de ensayo se dan en Apéndice X6.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM              | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |   | AASHTO     |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|------------------------------|--|----------------------|---------------------------|--------|---|------------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                              |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D7175 - 15  | ITEM       | T 315 - 12   |             |                    |                |          |
| C161 | Uso del fluido de referencia | Cálculo del módulo complejo de corte ( $G^*$ ) a partir de viscosidad en estado estable. | -                    | No especifica.            | A1.3   | Entre los diferentes métodos de conversión entre la viscosidad dinámica y estable de los polímeros, el más popular y exitoso es la denominada regla empírica de Cox - Merz. La regla se refiere, en términos simplificados, a la siguiente aproximación: $G^*/\omega\eta$ (A1.1) donde : $G^*$ = Módulo complejo de corte, $\omega$ = Frecuencia angular en [rad/s], y $\eta$ = Viscosidad capilar independiente de la velocidad de corte de acuerdo a lo informado por el proveedor del fluido de referencia.  | X6.1       | Entre los diferentes métodos de conversión entre la viscosidad dinámica y estable de los polímeros, el más popular y exitoso es la denominada regla empírica de Cox - Merz. La regla se refiere, en términos simplificados, a la siguiente aproximación: $G^*/\omega\eta$ (X6.1) donde : $G^*$ = Módulo complejo de corte, $\omega$ = Frecuencia angular en [rad/s], y $\eta$ = Viscosidad capilar independiente de la velocidad de corte de acuerdo a lo informado por el proveedor del fluido de referencia.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C162 | Uso del fluido de referencia | Cálculo del módulo complejo de corte ( $G^*$ ) a partir de viscosidad en estado estable. | -                    | No especifica.            | A1.3.1 | Para aplicar esta regla de medición debe estar dentro de la región de viscosidad, donde el ángulo de fase se aproxima a 90°. El valor del módulo complejo es entonces simplemente 10 veces el valor de la viscosidad capilar. Por ejemplo, si la viscosidad capilar es 270 000 [mPa·s] el módulo complejo es: $G^* [kPa] = (270.000 [mPa·s]) / (1 [kPa]) / (1.000.000 [mPa·s]) / (10 [rad]) = 2.70 [kPa·rad]$   | X6.1       | Para aplicar esta regla de medición debe estar dentro de la región de viscosidad, donde el ángulo de fase se aproxima a 90°. El valor del módulo complejo es entonces simplemente 10 veces el valor de la viscosidad capilar. Por ejemplo, si la viscosidad capilar es 270 000 [mPa·s] el módulo complejo es: $G^* [kPa] = (270.000 [mPa·s]) / (1 [kPa]) / (1.000.000 [mPa·s]) / (10 [rad]) = 2.70 [kPa·rad]$  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C163 | Uso del fluido de referencia | Cálculo del módulo complejo de corte ( $G^*$ ) a partir de viscosidad en estado estable. | -                    | No especifica.            | A1.3.2 | El fluido de referencia se comporta como un fluido viscoso desde los 64°C hacia arriba y proporciona una estimación bastante precisa de $G^*$ sobre los 64°C]. A temperaturas bajo los 58°C] el fluido entrega valores incorrectos para $G^*$ aumentando a medida que la temperatura se aleja de los 64°C]. A los 64°C] y sobre $G^*$ dividido la frecuencia en [rad·s] la variación no debe ser más de un 3% de la viscosidad impresa en la etiqueta de la botella. Si este no es el caso, entonces la calibración del torque debe ser considerado sospechosa. | X6.1       | El fluido de referencia se comporta como un fluido viscoso desde 64°C] hacia arriba y proporciona una estimación bastante precisa de $G^*$ sobre los 64°C]. A temperaturas bajo los 58°C] el fluido entrega valores incorrectos para $G^*$ aumentando a medida que la temperatura se aleja de los 64°C]. A los 64°C] y sobre $G^*$ dividido la frecuencia en [rad·s] la variación no debe ser más de un 3% de la viscosidad impresa en la etiqueta de la botella. Si este no es el caso, entonces la calibración del torque debe ser considerado sospechosa. | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C164 | Uso del fluido de referencia | Métodos para transferir el fluido a los platos de ensayo                                 | -                    | No especifica.            | A1.4   | Tres métodos diferentes para transferir el fluido a las platos de ensayo, método de varilla de vidrio (ver A1.4.1), método espátula (ver A1.4.2), y método directo donde uno de los platos de ensayo extraíble se mantiene en contacto directo con el fluido en la botella (ver A1.4.3).  | X7.1- X7.2 | Tres métodos diferentes para transferir el fluido a las platos de ensayo, método de varilla de vidrio (Sección X7.3), método espátula (Sección X7.4), y método directo donde uno de los platos de ensayo extraíble se mantiene en contacto directo con el fluido en la botella (Sección X7.6).   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C165 | Uso del fluido de referencia | Método varilla de vidrio   | -                    | No especifica.            | A1.4.1 | En este método una varilla de vidrio se inserta en el fluido y se gira (Paso 1). Continuar girando la varilla y retirarla lentamente del fluido (Paso 2) llevar una pequeña masa del fluido en la varilla. Toque la masa con la placa (Paso 3) para transferir el fluido a la esta.   | X7.3       | En este método una varilla de vidrio se inserta en el fluido y se gira (Paso 1). Continuar girando la varilla y retirarla lentamente del fluido (Paso 2) llevar una pequeña masa del fluido en la varilla. Toque la masa con la placa (Paso 3) para transferir el fluido a la está (Véase Fig. X7.1).  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |   | AASHTO      |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---|--|----------------------|---------------------------|--------|---|-------------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |   |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D7175 - 15  | ITEM        | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C166 | Uso del fluido de referencia                              | Método de la espátula  | -                    | No especifica.            | A1.4.2 | Cuando se requiere transferir el fluido con cuidado, utilizar una espátula. Se debe tener cuidado de no atrapar aire al sacar el material desde el recipiente (Paso 1), esparcir la masa de la espátula sobre el plato (Paso 2) y cortar la masa que sobresalen de los bordes de la placa con la espátula (Paso 3). Este método parece ser el más difícil de poner en práctica y es el menos recomendado de los tres métodos (Ver Fig. A1.2).   | X7.4 - X7.5 | Cuando se requiere transferir el fluido con cuidado, utilizar una espátula. Se debe tener cuidado de no atrapar aire al sacar el material desde el recipiente (Paso 1), esparcir la masa de la espátula sobre el plato (Paso 2) y cortar la masa que sobresalen de los bordes de la placa con la espátula (Paso 3). Este método parece ser el más difícil de poner en práctica y es el menos recomendado de los tres métodos (Ver Fig. X7.2).   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C167 | Uso del fluido de referencia                              | Método directo   | -                    | No especifica.            | A1.4.3 | Si el reómetro está equipado con platos removibles que no afectan la distancia de referencia entre ellos (Gap). Mover uno de los platos y tocar la superficie de los platos con la superficie del fluido de la botella (Paso 1). Retirar el plato desde la botella, poniendo una porción del fluido en el plato (Paso 2). De vuelta el plato y permita que el fluido fluya formando una concavidad (Paso 3).  | X7.6        | Si el reómetro está equipado con platos removibles que no afectan la distancia de referencia entre ellos (Gap). Mover uno de los platos y tocar la superficie del fluido de la botella (Paso 1). Retirar el plato desde la botella, poniendo una porción del fluido en el plato (Paso 2). De vuelta el plato y permita que el fluido fluya formando una concavidad (Paso 3).  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C168 | Uso del fluido de referencia                              | Formación de la protuberancia                                    | -                    | No especifica.            | A1.5   | Proceder inmediatamente a 11.4 para cortar la muestra del fluido de referencia y a 11.5 para formar una protuberancia.  | X7.6        | Proceder inmediatamente a 10.5 para cortar la muestra del fluido de referencia y a 11.5 para formar una protuberancia.  | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C169 | Uso del fluido de referencia                              | Ensayo del fluido  | -                    | No especifica.            | A1.6   | Ensayo la muestra del fluido de referencia como se describe en la sección 12.   | X7.6        | Ensayo la muestra del fluido de referencia como se describe en la sección 11.   | NO          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C170 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia. | Necesidad de la precisión para medida del diámetro de la probeta | -                    | No especifica.            | X3.1   | La precisión de las mediciones del DSR depende de la precisión del diámetro de la muestra. El diámetro de la muestra se asume igual al diámetro de los platos de ensayo. Por esta razón, el recorte del exceso de ligante asfáltico, la distancia entre los platos y que estén bien juntos son críticos para producir una ligera protuberancia en la muestra de ensayo. Cuando los platos se cierran a su distancia final, la protuberancia debe tener un tamaño suficiente para compensar cualquier contracción en el ligante y evitar una superficie cóncava como se muestra en la Fig. X3.1. El diámetro de la muestra de ensayo en la Fig. X3.1 se aproxima a d, en lugar de d', el diámetro del plato. El módulo G* se calcula según la siguiente ecuación: $G^* = (2h/(\pi r^4))(\tau/\theta)$<br>Donde:<br>G* = Módulo de corte complejo,<br>τ = Torque aplicado a la probeta,<br>h = Espesor de la probeta,<br>θ = Ángulo de rotación, radianes<br>r = Radio de los platos de ensayo. | X8.1 - X8.2 | La precisión de las mediciones del DSR depende de la precisión del diámetro de la muestra. El diámetro de la muestra de ensayo se asume igual al diámetro de los platos de ensayo. Por esta razón, el recorte del exceso de ligante asfáltico, la distancia entre los platos y que estén bien juntos son críticos para producir una ligera protuberancia en la muestra de ensayo. Cuando los platos se cierran a su distancia final, la protuberancia debe tener un tamaño suficiente para compensar cualquier contracción en el ligante y evitar una superficie cóncava como se muestra en la Fig. X8.1. El diámetro de la muestra de ensayo en la Fig. X8.1 se aproxima a d, en lugar de d', el diámetro del plato. El módulo G* se calcula según la siguiente ecuación: $G^* = (2h/(\pi r^4))(\tau/\theta)$<br>Donde:<br>G* = Módulo de corte complejo,<br>τ = Torque aplicado a la probeta,<br>h = Espesor de la probeta,<br>θ = Ángulo de rotación, radianes<br>r = Radio de los platos de ensayo. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |  | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---|--|----------------------|---------------------------|--------|--|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |   |  | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D7175 - 15   | ITEM   | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C171 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia. | Necesidad de la precisión para medida del diámetro de la probeta | -                    | No especifica.            | X3.1.1 | De acuerdo a la Eq X3.1 el módulo depende del radio (o diámetro) elevado a la cuarta potencia. Por lo tanto, una pequeña concavidad en la superficie exterior de la muestra, como se aprecia en la Fig. X3.1, tendrá un gran efecto sobre el módulo medido debido a que el diámetro de la probeta real será inferior que el diámetro del plato. Para una concavidad específica, el efecto sobre el módulo medido es mayor para los platos de 8[mm] que para platos de 25[mm]. El resultado más favorable es una ligera protuberancia como se ilustra en la Fig. X3.2. los esfuerzos de corte no se transfieren directamente desde los platos al ligante en voladizo y por lo tanto el efecto de una ligera protuberancia en el módulo medido es mucho menor que una ligera concavidad. Se debe tener en cuenta que los errores en el diámetro de la muestra de ensayo no afectan a los valores de medición del ángulo de fase. | X8.3   | De acuerdo con la ecuación X8.1 el módulo depende del radio (o diámetro) elevado a la cuarta potencia. Por lo tanto, una pequeña concavidad en la superficie exterior de la muestra de ensayo, como se muestra en la Fig. X3.1, tendrá un gran efecto sobre el módulo medido debido a que el diámetro de la probeta real será inferior que el diámetro del plato. Para una concavidad específica, el efecto sobre el módulo medido es mayor para los platos de 8 [mm] que para platos de 25 [mm]. Un resultado más deseable es una ligera protuberancia como se ilustra en la Fig. X8.2. los esfuerzos de corte no se transfieren directamente desde los platos al ligante en voladizo y por lo tanto el efecto de una ligera protuberancia en el módulo medido es mucho menor que una ligera concavidad. Se debe tener en cuenta que los errores en el diámetro de la muestra de ensayo no afectan a los valores de medición del ángulo de fase. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C172 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia. | Recomendaciones para la distancia inicial (Gap)                  | -                    | No especifica.            | X3.2   | Los distancia requerida para formar una protuberancia en la prueba temperatura similar a la protuberancia ilustrada en la Fig. X3.2 se dan en 11.5 como 50[μm] y 100[μm] para platos de 25[mm] y 8[mm] respectivamente. Aunque estas medidas pueden ser apropiadas para muchos reómetros, pueden no serlo para todo. La aplicación de estos valores a un reómetro específico puede determinarse mediante la preparación de una muestra de ensayo usando el gap recomendado y observar la forma de la protuberancia después de que la distancia entre los platos se alcance y la muestra de ensayo este a la temperatura de ensayo. Si la distancia recomendada no forma la protuberancia deseada, las distancias recomendadas deben ajustarse para cada caso en particular.  | X9.1   | Los distancia requerida para formar una protuberancia en la prueba temperatura ilustrada en la Fig. X8.2 se dan en 10.5 como 50[μm] y 100[μm] para platos de 25[mm] y 8[mm] respectivamente. Aunque estas medidas pueden ser apropiadas para muchos reómetros, pueden no serlo para todo. La aplicación de estos valores a un reómetro específico puede determinarse mediante la preparación de una muestra de ensayo usando el gap recomendado y observar la forma de la protuberancia después de que la distancia entre los platos se alcance y la muestra de ensayo este a la temperatura de ensayo. Si la distancia recomendada no forma la protuberancia deseada, las distancias recomendadas deben ajustarse para cada caso en particular.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C173 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia. | Recomendaciones para la distancia inicial (Gap)                  | -                    | No especifica.            | X3.2.1 | Protuberancias propias e impropias se muestran en las Figs. X3.3 - X3.5. Una lupa es útil para observar la forma de la protuberancia. Independientemente de la distancia requerida para producir una protuberancia adecuada, se debe utilizar el gap real para el cálculo.   | X9.1   | Protuberancias propias e impropias se muestran en las Figs. X10.1 - X10.3. Una lupa es útil para observar la forma de la protuberancia. Independientemente de la distancia requerida para producir una protuberancia adecuada, se debe utilizar el gap real para el cálculo.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C174 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia. | Factores que afectan la formación de la protuberancia.           | -                    | No especifica.            | X3.3   | Factores que afectan la formación de la protuberancia.   | X10.1  | Factores que afectan el desarrollo de la protuberancia.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM   | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM     |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---|--|----------------------|---------------------------|----------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |   |  | ÍTEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ÍTEM     | D7175 - 15  | ÍTEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C175 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.1   | Un sin fin de factores pueden afectar la formación de la protuberancia a la temperatura de ensayo, esto incluye:  | X10.1   | Un sin fin de factores pueden afectar la formación de la protuberancia a la temperatura de ensayo, esto incluye:  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C176 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.1.1 | La separación entre los platos utilizados para crear la protuberancia.  | X10.1   | La separación entre los platos utilizados para crear la protuberancia.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C177 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.1.2 | La diferencia de temperatura entre, temperatura de corte, temperatura de creación de la protuberancia y temperatura de ensayo.  | X10.1   | La diferencia de temperatura entre, temperatura de corte, temperatura de creación de la protuberancia y temperatura de ensayo.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C178 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.1.3 | Características térmicas de expansión - contracción del reómetro, y   | X10.1   | Características térmicas de expansión - contracción del reómetro, y   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C179 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.1.4 | Contracción y expansión térmica del ligante asfáltico.  | X10.1   | Contracción y expansión térmica del ligante asfáltico.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C180 | Selección de la distancia para obtener una protuberancia.               | Factores que afectan la formación de la protuberancia.                       | -                    | No especifica.            | X3.3.2   | Es más probable que se forme una superficie cóncava a temperaturas intermedias que a temperaturas elevadas (Platos de 8[mm] más que los platos de 25 [mm]). En efecto, a mayor temperatura el exceso de material puede ser derramado desde los platos como se muestra en la Fig. X3.5. Esta situación debe ser evitada y puede requerir que la separación entre los platos (gap) sea menor que los valores recomendados.  | X10.1   | Es más probable que se forme una superficie cóncava a temperaturas intermedias que a temperaturas elevadas (Platos de 8[mm] más que los platos de 25 [mm]). En efecto, a mayor temperatura el exceso de material puede ser derramado desde los platos como se muestra en la Fig. X10.3. Esta situación debe ser evitada y puede requerir que la separación entre los platos (gap) sea menor que los valores recomendados.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C181 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico | -                    | No especifica.            | X4.1     | Después de que la probeta ha sido montada en el DSR, toma tiempo para que el ligante asfáltico entre los platos adquiera el equilibrio térmico. Debido al gradiente térmico existente dentro de los platos y la probeta, puede tomar más tiempo para la probeta llegar al equilibrio térmico que el tiempo indicado por el termómetro del DSR. Por lo tanto, es necesario determinar el tiempo requerido experimentalmente para que la probeta alcance el equilibrio. | X11.1.1 | Después de que la probeta ha sido montada en el DSR, toma tiempo para que el ligante asfáltico entre los platos adquiera el equilibrio térmico. Debido al gradiente térmico existente dentro de los platos y la probeta, puede tomar más tiempo para la probeta llegar al equilibrio térmico que el tiempo indicado por el termómetro del DSR. Por lo tanto, es necesario determinar el tiempo requerido experimentalmente para que la probeta alcance el equilibrio. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C182 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico | -                    | No especifica.            | X4.1.1   | El tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico varía en los diferentes reómetros. Los factores que afectan el tiempo necesario para llegar al equilibrio térmico incluyen:  | X11.1.2 | El tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico varía en los diferentes reómetros. Los factores que afectan el tiempo necesario para llegar al equilibrio térmico incluyen:  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C183 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico | -                    | No especifica.            | X4.1.1.1 | Diseño del reómetro, si se usa líquido o aire como medio de temperación.  | X11.1.3 | Diseño del reómetro, si se usa líquido o aire como medio de temperación.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C184 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico | -                    | No especifica.            | X4.1.1.2 | Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de ensayo, diferente cuando se ensaya por debajo de la temperatura ambiente y sobre ella.   | X11.1.4 | Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de ensayo, diferente cuando se ensaya por debajo de la temperatura ambiente y sobre ella.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM   | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM     |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---|---|----------------------|---------------------------|----------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |   |   | ÍTEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ÍTEM     | D7175 - 15  | ÍTEM    | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C185 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico.     | -                    | No especifica.            | X4.1.1.3 | Diferencia entre temperatura de corte de la protuberancia y temperatura de ensayo, y  | X11.1.5 | Diferencia entre temperatura de corte de la protuberancia y temperatura de ensayo, y  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C186 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico.     | -                    | No especifica.            | X4.1.1.4 | Dimensión del plato, diferente para platos 8 [mm] y 25 [mm].  | X11.1.6 | Dimensión del plato, diferente para platos 8 [mm] y 25 [mm].  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C187 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico.     | -                    | No especifica.            | X4.1.2   | No es posible determinar el tiempo específico para alcanzar el equilibrio térmico. Por ejemplo, el equilibrio térmico es alcanzado más rápidamente con reómetros controlados con líquidos que reómetros controlados con enfriadores de aire. Esto quiere decir que el tiempo para lograr el equilibrio térmico dependerá de cada reómetro, de los cortes, temperaturas de ensayo y condiciones de ensayo. | X11.2   | No es posible determinar el tiempo específico para alcanzar el equilibrio térmico. Por ejemplo, el equilibrio térmico es alcanzado más rápidamente con reómetros controlados con líquidos que reómetros controlados con enfriadores de aire. Esto quiere decir que el tiempo para lograr el equilibrio térmico dependerá de cada reómetro, de los cortes, temperaturas de ensayo y condiciones de ensayo. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C188 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.2     | Una estimación fiable del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio térmico se puede obtener monitoreando la temperatura del DSR y el módulo complejo de una muestra. Debido que el módulo es altamente sensible a la temperatura, es un excelente indicador del equilibrio térmico. Los siguientes procedimientos son recomendados para establecer el tiempo en alcanzar el equilibrio térmico.       | X12.1   | Una estimación fiable del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio térmico se puede obtener monitoreando la temperatura del DSR y el Módulo complejo de una muestra. Debido que el módulo es altamente sensible a la temperatura, es un excelente indicador del equilibrio térmico. Los siguientes procedimientos son recomendados para establecer el tiempo en alcanzar el equilibrio térmico.       | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C189 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.2.1   | Monte una muestra de ligante en el DSR y ajústelo de la forma habitual. Forme una protuberancia y lleve la cámara o el fluido a la temperatura de ensayo.   | X12.2   | Monte una muestra de ligante en el DSR y ajústelo de la forma habitual. Forme una protuberancia y lleve la cámara o el fluido a la temperatura de ensayo.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C190 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.2.2   | Opere el reómetro en modo continuo a 10 [Rad/s] usando un ligante asfáltico original, uno que no cambie su módulo con cortes reiterativos. Use el valor de la deformación que brinde resultados representativos.  | X12.3   | Opere el reómetro en modo continuo a 10 [Rad/s] usando un ligante asfáltico original, uno que no cambie su módulo con cortes reiterativos. Use el valor de la deformación que brinde resultados representativos.  | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C191 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.2.3   | Anote el módulo a intervalos de 30[s] y realice un gráfico del módulo en función del tiempo (Véase Fig. 5).   | X12.4   | Anote el módulo a intervalos de 30[s] y realice un gráfico del Módulo en función del tiempo (Véase Figure X12.1).   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C192 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.2.4   | El tiempo para alcanzar el equilibrio térmico es el requerido para que el módulo sea constante. Normalmente, este tiempo será mayor que el requerido por el termómetro del DSR para que su lectura sea constante.   | X12.5   | El tiempo para alcanzar el equilibrio térmico es el requerido para que el módulo sea constante. Normalmente, este tiempo será mayor que el requerido por el termómetro del DSR para que su lectura sea constante.   | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |

**ANEXO C: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE LS PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|---|---|----------------------|---------------------------|------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |   |   | ITEM                 | 8.302.22 (DICIEMBRE 2003) | ITEM | D7175 - 15  | ITEM   | T 315 - 12  |             |                    |                |          |
| C193 | Determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico. | -                    | No especifica.            | X4.3 | Porque el tiempo para alcanzar el equilibrio térmico varía de acuerdo a la temperatura de ensayo, se establecerán tiempos para mediciones a temperaturas intermedias y altas. | X12.6  | Porque el tiempo para alcanzar el equilibrio térmico varía de acuerdo a la temperatura de ensayo, se establecerán tiempos para mediciones a temperaturas intermedias y altas. | SI          | ASTM - AASHTO      | ASTM           | 2        |
| C194 | Reporte   | Ejemplo   | -                    | No especifica.            | -    | No especifica.  | X13    | Véase en Anexo J.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

---

# ANEXO D:

CUADRO COMPARATIVO MÉTODO  
SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD  
MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO  
ROTACIONAL BROOKFIELD

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N° | NOMBRE DEL ÍTEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|----|-------------------------------|--|----------------------|--|-------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|    |                               |  | ÍTEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003)  | ÍTEM  | D4402M -15  |        | T 316-13  |             |                    |                |          |
| D1 | Alcance y campo de aplicación | Rango de temperatura para determinar la viscosidad | 1.                   | 60 - 200 [°C].   | 1.1   | 38 - 260 [°C].  | 1.1    | 60 - 200 [°C].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| D2 | Alcance y campo de aplicación | Unidades   | 1.                   | No especifica.   | 1.2   | Los valores indicados en unidades SI o unidades pulgadas-libras deben considerarse por separado como estándar. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes. Por lo tanto, cada sistema se utilizará independiente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad.  | 1.1    | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 2        |
| D3 | Alcance y campo de aplicación | Función del ensayo                                 | 1.                   | La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente. Algunos asfaltos pueden exhibir un comportamiento no newtoniano bajo las condiciones de este ensayo, o a temperaturas dentro del rango de este método. Los valores de viscosidad no newtonianos no son la única propiedad del material, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo las condiciones particulares del ensayo. En estos casos, las medidas hechas con este método no siempre predicen el comportamiento bajo las condiciones de uso posterior. Las comparaciones entre valores de viscosidad no Newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones. | 5.    | Este método de ensayo es utilizado para medir la viscosidad aparente del ligante asfáltico al ser manipulado, mezclado o a la temperatura de aplicación. Algunos asfaltos presentan un comportamiento no-newtoniano dentro de las condiciones de este ensayo, ya que los valores de viscosidad no-newtonianos no son propiedades absolutas, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo un sistema de medición particular. Se debe reconocer que las mediciones realizadas por este método no siempre pueden predecir el comportamiento del ligante en terreno. Las comparaciones entre valores de viscosidad no Newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones. | 5.     | Este método puede ser usado para medir viscosidad aparente del asfalto a temperaturas de aplicación. La medición de viscosidad a temperaturas elevadas se utilizar para determinar si el asfalto puede ser manipulado y bombeado en la refinería, terminal o planta mezcladora con facilidad. La medición de la viscosidad desde este procedimiento es usado para realizar gráficos de temperatura - viscosidad que permiten estimar temperaturas de compactación y mezclado para el diseño de mezclas en caliente. | NO          | NO                 | M.C.           | 4        |
| D4 | Terminología                  | Viscosidad, unidades                               | 3.1                  | En el Sistema Internacional la unidad de viscosidad es el pascal segundo [Pa·s], en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise [dina·s/cm <sup>2</sup> ] y equivale a 0,1 [Pa·s]. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo [mPa·s].   | 3.1.6 | En el Sistema Internacional la unidad de viscosidad es el pascal segundo [Pa·s], en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise [dina·s/cm <sup>2</sup> ] y equivale a 0,1 [Pa·s]. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo [mPa·s].  | 3.1.1  | Pascal segundo [Pa·s].  | NO          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| D5 | Terminología                  | Asfalto con polvo mineral                          | -                    | No especifica.   | 3.1.2 | Mezcla de asfalto que contiene partículas finas de materia mineral insoluble.   | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 2        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM       | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------------|--|----------------------|--|-------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                       |  | ITEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003)  | ITEM  | D4402M -15  |        | T 316-13  |             |                    |                |          |
| D6  | Terminología          | Líquido newtoniano   | -                    | No especifica.   | 3.1.3 | Líquido para el cual la tasa de corte es proporcional a la tensión de corte. La relación constante de la tensión y velocidad de corte es la viscosidad del líquido. La viscosidad de un líquido newtoniano, por tanto, no depende de su velocidad de corte. Si la relación no es constante, el líquido es no newtoniano. Muchos de los líquidos presentan un comportamiento tanto newtoniano y no newtoniano, dependiendo de la velocidad de corte, temperatura, o ambos. | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D7  | Terminología          | Velocidad de corte   | -                    | No especifica.   | 3.1.4 | Medida de la velocidad a la cual las capas intermedias del líquido se mueven con respecto a las otras. Su unidad de medida es [s <sup>-1</sup> ].   | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D8  | Terminología          | Esfuerzo de corte  | -                    | No especifica.   | 3.1.5 | Fuerza por unidad de área requerida para producir el corte. Su unidad de medida en SI es el pascal, y en CGS es [dina/cm <sup>2</sup> ].  | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D9  | Terminología          | Vástagos o spindles  | -                    | No especifica.   | 3.2.1 | Parte del equipo que se introduce en la muestra de asfalto, la medición del vástago a utilizar, junto con la resistencia rotacional del torque, se utilizan para calcular la viscosidad aparente. Este aparato puede ser referido por el fabricante como spindles, bob, cilindro concéntrico interior, paleta, y así sucesivamente.   | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D10 | Aparatos y Materiales | Contenedor de la muestra   | -                    | No especifica.   | 6.5   | Reutilizable o desechable.  | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D11 | Aparatos y Materiales | Controlador de temperatura, rango de temperatura capaz de mantener | 5.3                  | 65 - 165 ± 0,1 [°C] o mayores.   | 6.5   | 38 - 150 ± 1 [°C] ; 150 - 260 ± 2 [°C].   | 6.5    | 60 - 165 ± 0,1 [°C].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D12 | Aparatos y Materiales | Horno, características   | 5.4                  | Capaz de mantener la temperatura hasta 212 ± 3 [°C].                   | -     | No especifica.  | 6.1    | Capaz de mantener cualquier temperatura desde T° ambiente a 260 ± 3 [°C]. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D13 | Aparatos y Materiales | Termómetro   | 5.5                  | Para medir temperaturas desde 60 - 212 [°C] con precisión de 0,1 [°C]. | 6.7   | Termómetro con resistencia de platino (RTD), posee una sonda que se ajusta a los requisitos de la Especificación E1137 para medir la temperatura de la cámara térmica. El RTD tendrá una configuración de conexión de 3 o 4 hilos y la longitud total de la vaina será de al menos 5[mm] mayor que la profundidad de inmersión. Calibrar el sistema RTD (Sonda y lectura), de acuerdo a Test Methods E644.  | 6.2    | Para medir temperaturas desde 60 - 200 [°C] con precisión de 0,2 [°C].    | NO          | NO                 | M.C.           | 5        |
| D14 | Aparatos y Materiales | Balanza, capacidad   | 5.6                  | 2000 ± 0,1 [g].  | 6.6   | Para determinar la masa de la muestra con precisión de 0,1 [g].   | 6.3    | 2000 ± 0,1 [g].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM               | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM |  | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------------|---|----------------------|---|------|--|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                               |   | ÍTEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003)   | ÍTEM | D4402M -15   |        | T 316-13  |             |                    |                |          |
| D15 | Preparación del aparato       | Viscosímetro rotacional   | -                    | No especifica.  | 8    | El viscosímetro rotacional y la cámara ambiental deben ser nivelados y preparados según la especificación del fabricante.  | 9      | El viscosímetro rotacional debe ser nivelado para funcionar apropiadamente. Generalmente se encuentra un nivel de burbuja en la superficie del viscosímetro y es ajustado mediante tornillos ubicados en la base. Si el controlador del torque y la cámara ambiental son elementos separados, ambos deben ser nivelados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| D16 | Calibración y estandarización | Frecuencia de calibración del viscosímetro  | 6.1                  | De acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | 9.2  | Al menos una vez al año.   | 10.1   | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D17 | Calibración y estandarización | Rango de temperatura para el cual debe estar certificado el líquido de referencia | 6.1                  | Todo rango de temperatura de ensayo (60 - 200 [°C]).  | 9.2  | Dentro de 50 [°C] de la temperaturas utilizadas durante el ensayo.   | 10.1   | Todo rango de temperatura de ensayo y velocidad de corte.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D18 | Calibración y estandarización | Frecuencia de chequeo del controlador de temperatura                              | 6.2                  | No especifica.  | 9.3  | Al menos cada 6 meses.   | 10.2   | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D19 | Calibración y estandarización | Método de chequeo del controlador   | 6.2                  | Colocando una muestra de asfalto en la cámara hasta que la temperatura se establezca. La temperatura indicada debe ser verificada mediante un dispositivo NIST, tal como se indica en la norma ASTM E1.   | 9.3  | Colocando una muestra de asfalto o aceite con alto punto de inflamación dentro de la cámara, hasta que alcance el equilibrio térmico a una temperatura dentro de los 50 [°C] de la temperatura de ensayo. Si se indica cualquier diferencia en la temperatura, se debe ajustar el punto de referencia del controlador. | 10.2   | Colocando una muestra de asfalto en la cámara hasta que la temperatura se establezca. La temperatura indicada debe ser verificada mediante un dispositivo NIST, tal como se indica en la norma ASTM E1.   | SI          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 5        |
| D20 | Calibración y estandarización | Precisión de la medición de la temperatura  | 6.2                  | No especifica.  | 9.3  | ± 0,1 [°C].  | 10.2   | No especifica.  | SI          | NO                 | M.C.           | 4        |
| D21 | Preparación de las Muestras   | Obtención de muestras   | 7.1                  | Original o modificadas, según 8.302.1 (asfaltos: métodos de muestreo)   | -    | No especifica.   | 11.1   | Original o modificado, de acuerdo a R66.  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| D22 | Preparación de las Muestras   | Acondicionamiento de la muestra   | 7.2                  | Caliente el asfalto hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensayo remueve asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) el cual puede ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.  | -    | No se especifica   | 11.1.1 | Caliente el asfalto hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensayo remueve asociaciones moleculares reversibles (Endurecimiento estérico) el cual puede ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| D23 | Preparación de las muestras   | Temperatura de calentamiento  | Nota 2               | Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento que produzca una consistencia equivalente a la del aceite SAE 10W30 a temperatura ambiente. La temperatura específica dependerá del grado asfáltico y su historia de envejecimiento previa, si la tiene. Es deseable no calentar los asfaltos a más de 135 [°C], sin embargo algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir temperaturas mayores. | -    | No especifica.   | Note 1 | Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento que produzca una consistencia equivalente a la del aceite SAE 10W30 a temperatura ambiente. La temperatura específica dependerá del grado asfáltico y su historia de envejecimiento previa, si la tiene. Es deseable no calentar los asfaltos a más de 135 [°C], sin embargo algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir temperaturas mayores. | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| D24 | Procedimiento de ensayo       | Precaentamiento de equipos  | 8.3                  | De acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | 10.2 | Al menos 5 minutos antes de realizar cualquier calibración o análisis.   | 12.3   | De acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 4        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM         | DESCRIPCIÓN                                   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM   |  | AASHTO       |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------|---|----------------------|--|--------|--|--------------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                         |   | ÍTEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003)  | ÍTEM   | D4402M -15   |              | T 316-13   |             |                    |                |          |
| D25 | Procedimiento de ensayo | Configuración controlador de temperatura      | 8.4                  | A temperatura de ensayo.   | 10.3   | Temperatura de ensayo, considerando cualquier ajuste determinado en 9.3.   | 12.4         | A temperatura de ensayo.   | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| D26 | Procedimiento de ensayo | Pre calentamiento de aparatos                 | 8.3                  | Pre calentamiento del contenedor, soporte de la muestra y vástago seleccionado.  | 10.5   | Pre calentamiento del contenedor de la muestra, y vástago seleccionado, hasta alcanzar la temperatura de equilibrio por al menos 15 [min]. Si se ha medido el polvo mineral, este paso es obligatorio.   | 12.3         | Pre calentamiento del contenedor, soporte de la muestra y vástago seleccionado.  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| D27 | Procedimiento de ensayo | Selección del vástago                         | 8.3                  | De acuerdo a las instrucciones del fabricante.   | 10.4   | Seleccione un vástago que pueda realizar un torque entre 10 y 98 % de la capacidad del instrumento a la velocidad seleccionada. Generalmente la medición será más precisa en lecturas de torque mayor.   | 12.3         | De acuerdo a las instrucciones del fabricante.   | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| D28 | Procedimiento de ensayo | Volumen requerido de ligante                  | 8.5 y 8.6            | Según fabricante, de acuerdo al numeral 7. Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, retire el soporte de las muestras y coloque la cantidad de asfalto requerida en el contenedor de asfalto.  | 10.6   | Añadir el volumen de la muestra especificado por el fabricante para el vástago que se utilizará. Una forma conveniente para medir el volumen es pesando la cantidad calculada a partir de datos de densidad aproximada para la muestra y luego regresar la cámara de muestra a la cámara ambiental. Revuelva bien el asfalto para obtener una muestra representativa antes de pesar. | 12.5 y 12.6  | Según fabricante, de acuerdo a la sección 11.1.1. Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, retire el soporte de las muestras y coloque la cantidad de asfalto requerida en el contenedor de asfalto. | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| D29 | Procedimiento de ensayo | Temperatura del ligante                       | -                    | No especifica.   | Note 1 | Evitar el sobrecalentamiento y contacto de las muestras con puntos de inflamación bajos.   | -            | No especifica.   | SI          | NO                 | M.C.           | 3        |
| D30 | Procedimiento de ensayo | Llenado de contenedor de la muestra           | -                    | No especifica.   | 10.7   | No llene demasiado el contenedor de muestra, pero asegúrese de que la porción de medida del vástago este completamente sumergido. Siga las instrucciones del fabricante. El volumen de la muestra es crítica para cumplir con el estándar de calibración del sistema.  | -            | No especifica.   | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| D31 | Procedimiento de ensayo | Instalación del vástago                       | 8.8                  | Inserte el vástago previamente pre calentado y únalo a la parte inferior del viscosímetro, utilizando los accesorios de acoplamiento incluidos con el equipo. Una vez acoplado, bájelo suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra la parte cónica superior del vástago. | 10.8   | Inserte el vástago seleccionado y pre calentado dentro del asfalto en el contenedor, y únalo al viscosímetro, siguiendo las instrucciones del fabricante para una alineación adecuada.   | 12.8         | Bajar el vástago hasta que penetre en la muestra asfáltica y cubra la parte superior del vástago. Este procedimiento debe ser basado en las recomendaciones del fabricante.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D32 | Procedimiento de ensayo | Pre calentamiento del ligante y vástago       | 8.5                  | Según fabricante, de acuerdo al numeral 7.   | 10.5   | Por al menos 15 minutos. Si se está ensayando asfalto con polvo mineral, este paso es obligatorio.   | 12.5         | Según fabricante, de acuerdo a la sección 11.1.1.  | SI          | NO                 | M.C.           | 4        |
| D33 | Procedimiento de ensayo | Temperatura de ensayo, tiempo para alcanzarla | 8.9                  | Alcanzarla dentro de 30 minutos, permita que se establezca por 10 minutos antes de comenzar la medición.   | 10.9   | Alcanzarla dentro de 30 minutos, permita se establezca por 10 minutos antes de comenzar la medición. En caso del asfalto con polvo mineral, encender el motor de rotación inmediatamente.  | 12.9 - 12.10 | Dentro de 30 minutos, permita se establezca por 10 minutos.  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM         | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM   |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------------|--|----------------------|---|--------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                         |  | ÍTEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003)   | ÍTEM   | D4402M -15   |         | T 316-13  |             |                    |                |          |
| D34 | Procedimiento de ensayo | Velocidad de giro del viscosímetro                           | 8.10                 | 20 [rpm].   | 10.10  | Iniciar la rotación del motor del viscosímetro a una velocidad que desarrolle una resistencia al torque entre 10 y 98 % de la capacidad de instrumento a gran escala. Mantener esta velocidad y dejar que la muestra se equilibre durante 5 minutos adicionales. La temperatura no debe desviarse más de $\pm 1,0$ [°C] durante este período de acondicionamiento. | 12.9    | 20 [rpm].   | NOSE        | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| D35 | Procedimiento de ensayo | Unidad de medida   | 8.10                 | [Pa·s].   | 10.10  | No especifica.   | 12.9    | [Pa·s].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| D36 | Procedimiento de ensayo | Inicio de rotación   | 8.11                 | Después que el asfalto ha alcanzado la temperatura de ensayo especificada y una vez estabilizada. | 10.9   | En caso de asfalto con polvo mineral, inmediatamente después de alcanzar la temperatura de ensayo. Si no luego de 10 [min].  | 12.10   | Durante los 10 minutos de equilibrio de la temperatura. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| D37 | Procedimiento de ensayo | Medición   | 8.12                 | Tres lecturas a intervalos de 3 minutos.  | 10.11  | Tres lecturas a intervalos de 1 minuto.  | 12.12   | Intervalos de 1 minuto por un total de 3 [min].         | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| D38 | Procedimiento de ensayo | Repetición de ensayo a distintas temperaturas                | -                    | No especifica.  | 10.12  | Si se ha medido asfalto con polvo mineral, se requiere una muestra nueva recientemente mezclada para cada temperatura de ensayo.   | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D39 | Procedimiento de ensayo | Lecturas del torque  | -                    | No especifica.  | 10.13  | Si las lecturas del torque están por encima de 98% de la capacidad instrumento a la temperatura de ensayo más baja, disminuir la velocidad de rotación del vástago y continuar con el ensayo, o repita los pasos 10.5 a 10.11 con un vástago de menor diámetro y volumen apropiado de muestra.   | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D40 | Procedimiento de ensayo | Lecturas del torque  | -                    | No especifica.  | 10.14  | Si la lectura de torque está por debajo de 10 % de la capacidad instrumento a la temperatura de ensayo más alta, aumentar la velocidad de rotación del vástago, o repita los pasos 10.5 a 10.11 con un vástago de mayor diámetro y el volumen apropiado de muestra.  | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D41 | Procedimiento de ensayo | Unidad de lectura del torque                                 | -                    | No especifica.  | 10.15  | Si el instrumento no lee directamente en unidades de viscosidad, multiplique las lecturas de torque por el factor apropiado para obtener los valores de viscosidad.  | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D42 | Precisión y sesgo       | Precisión mismo operador, coeficiente de variación           | 10.1                 | 2,60%   | 13.3.1 | 1,20%  | Table 1 | 1,20%   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| D43 | Precisión y sesgo       | Precisión mismo operador, rango aceptable para dos ensayos   | 10.1                 | 7,30%   | 13.3.1 | 3,50%  | Table 1 | 3,50%   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| D44 | Precisión y sesgo       | Precisión multilaboratorio, coeficiente de variación         | 10.2                 | 7,40%   | 13.3.2 | 4,30%  | Table 1 | 4,30%   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| D45 | Precisión y sesgo       | Precisión multilaboratorio, rango aceptable para dos ensayos | 10.2                 | 21,10%  | 13.1.2 | 12,10%   | Table 1 | 12,10%  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM   |                | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------|---|----------------------|---------------------------|--------|----------------|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                   |   | ITEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003) | ITEM   | D4402M -15     |        | T 316-13   |             |                    |                |          |
| D46 | Precisión y sesgo | Precisión mismo operador, rango aceptable para dos ensayos (UNFILLED ROOFING ASPHALT)   | -                    | No especifica.            | 13.1.2 | 3,50%          | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D47 | Precisión y sesgo | Precisión multilaboratorio, rango aceptable para dos ensayos (UNFILLED ROOFING ASPHALT) | -                    | No especifica.            | 13.1.2 | 14,50%         | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D48 | Precisión y sesgo | Precisión mismo operador, desviación estándar (FILLED ROOFING ASPHALT)                  | -                    | No especifica.            | 13.2.1 | 21%            | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D49 | Precisión y sesgo | Precisión mismo operador, rango aceptable de dos ensayos (FILLED ROOFING ASPHALT)       | -                    | No especifica.            | 13.2.1 | 59,40%         | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D50 | Precisión y sesgo | Precisión multilaboratorio, desviación estándar (FILLED ROOFING ASPHALT)                | -                    | No especifica.            | 13.2.2 | 33,20%         | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D51 | Precisión y sesgo | Precisión multilaboratorio, rango aceptable de dos ensayos(FILLED ROOFING ASPHALT)      | -                    | No especifica.            | 13.2.2 | 94%            | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | NINGUNA        | 6        |
| D52 | Precisión y sesgo | Base de la precisión  | -                    | No especifica.            | -      | No especifica. | Note 2 | Las precisiones estimadas dadas en la Tabla 1 están basadas en un análisis de resultados de ensayos desde 8 pares de AMRL ejemplos competentes. La información analizada consiste en resultados de 142 a 202 laboratorios para cada 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante: PG 52 - 34, PG 64 - 16, PG 64 - 22, PG 70 - 22, y PG 76 - 22 (SBS modificado). El rango promedio para viscosidad de ligantes originales obtenido fue de 0,272[Pa·s] a 0,719[Pa·s]. Para asfaltos modificados va desde 1,521[Pa·s] a 1,638[Pa·s]. Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO D: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN              | MANUAL DE CARRETERAS |                           | ASTM |                | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|------|----------------|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                   |                          | ITEM                 | 8.302.24 (DICIEMBRE 2003) | ITEM | D4402M -15     |        | T 316-13  |             |                    |                |          |
| D53 | Precisión y sesgo | Ejemplo de aceptabilidad | -                    | No especifica.            | -    | No especifica. | Note 3 | Como ejemplo, dos ensayos llevados a cabo con el mismo material con resultados de viscosidad de 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s], respectivamente. El promedio de estos dos resultados es 0,505 [Pa·s]. El rango de aceptabilidad de los resultados es de 3,5 % de 0,505 [Pa·s] o 0,018 [Pa·s]. Como la diferencia entre 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s] es menor que 0,018 [Pa·s], los resultados están dentro del rango aceptable. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

---

# ANEXO E:

CUADRO COMPARATIVO MÉTODO  
SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN  
FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS  
TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO  
DE VIGA A FLEXIÓN

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N° | NOMBRE DEL ITEM               | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM  |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|----|-------------------------------|--|----------------------|---|-------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|    |                               |  | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)  | ITEM  | D6648-08  | ITEM   | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E1 | Alcance y campo de aplicación | Función del ensayo                                   | 1.1                  | Este método cubre la determinación de rigidez o fluencia en flexión bajo carga constante de ligantes asfálticos.  | 1.1   | Este método cubre la determinación de la rigidez de fluencia a la flexión o deformación del ligante asfáltico y valor-m, mediante un reómetro de viga de flexión bajo carga constante.            | 1.1    | Este método cubre la determinación de la rigidez de fluencia a la flexión o deformación del ligante asfáltico, mediante un reómetro de viga de flexión.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E2 | Alcance y campo de aplicación | Rango de temperatura en que los equipos deben operar | 1.1                  | - 36 a 22 [°C]  | 1.1   | - 36 a 0 [°C]   | 1.1    | - 36 a 0 [°C]   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 1        |
| E3 | Terminología                  | Endurecimiento físico                                | 3.2                  | Rigidización tiempo-dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.   | 3.1.2 | Rigidización de los ligantes asfálticos, como función del tiempo, resultante del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.                            | 3.1.2  | Rigidización de los ligantes asfálticos, como función del tiempo, resultante del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas. El incremento de rigidez debido a endurecimiento físico es reversible cuando la temperatura se eleva.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| E4 | Terminología                  | Fluencia en flexión                                  | 3.3                  | Para el propósito de este método, se usa este término para definir cualquier característica del ligante asfáltico que se determina en un ensayo de fluencia en flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga $\delta(t)$ . Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensayo como el descrito, es una propiedad en fluencia.   | -     | No especifica.  | 3.2.1  | Ensayo en el cual una viga de asfalto simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga.   | NO          | NO                 | M.C.           | 4        |
| E5 | Terminología                  | Estimación de la rigidez en fluencia por flexión     | A.17                 | No se considera en este ítem, Anexo A1.7 especifica polinomio de segundo orden.   | 3.2.3 | Rigidez en fluencia obtenida por ajuste de un polinomio de segundo orden, para el logaritmo de la rigidez medida a 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240,0[s] y el logaritmo del tiempo.             | 3.2.3  | Rigidez en fluencia obtenida por ajuste de un polinomio de segundo orden para el logaritmo de la rigidez medida a 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240,0[s] y el logaritmo de tiempo.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E6 | Terminología                  | Carga de asentamiento                                | 3.8                  | Carga de 1 [s] de duración requerida para asentar la viga: $980 \pm 50$ [mN].   | -     | No se define  | 3.2.7  | Carga de 1 [s] requerida para asentar la viga: $980 \pm 50$ [mN].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E7 | Terminología                  | Tiempo cero de ensayo                                | 3.10                 | Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensaye (carga de ensaye).  | -     | No especifica.  | 3.2.9  | Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga inicial (carga de contacto) al regulador de carga de ensaye (carga de ensaye).   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E8 | Terminología                  | Lectura inicial de la celda de carga. (zero load)    | -                    | No especifica.  | 3.2.7 | Carga indicada por el dispositivo, cuando el vástago se encuentra flotando libremente en el baño líquido, en la posición que queda cuando se realiza el primer contacto con la probeta de ensaye. | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E9 | Resumen del método            | Verificación carga completa del ensayo               | 4.4                  | Para verificar que la carga completa de ensayo ( $980 \pm 50$ [mN]) se aplica dentro de los primeros 0,5 [s], se informa la carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 [s]. Estos datos no se usan en el cálculo de la rigidez ni del "valor m" y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo en que se aplica la carga total de ensayo puede verse afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, presión de aire inapropiada, mal funcionamiento de los sistemas de aire (estricción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0,0 y 0,5 [s], el usuario de los resultados puede determinar las condiciones de carga. | -     | No especifica.  | 4.4    | Para verificar que la carga completa de ensayo ( $980 \pm 50$ [mN]) se aplica dentro de los primeros 0,5 [s], se informa la carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 [s]. Estos datos no se usan en el cálculo de la rigidez ni del "valor m" y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo en que se aplica la carga total de ensayo puede verse afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, presión de aire inapropiada, mal funcionamiento de los sistemas de aire (estricción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0,0 y 0,5 [s], el usuario de los resultados puede determinar las condiciones de carga. | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM    | DESCRIPCIÓN                                     | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |   | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|--------------------|---|----------------------|---|---------|---|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                    |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)  | ITEM    | D6648-08  | ITEM    | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E10 | Resumen del método | Esticción, mal funcionamiento de flujos de aire | Nota 1               | La esticción puede ser comprobada colocando una carga de 3 [g] o menos sobre la columna de carga en la posición de flotación, y observando que la columna de carga se mueva cuando sea aplicada.  | -       | No especifica.  | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | M.C.           | 4        |
| E11 | Significado y uso  | Relación de la temperatura de ensayo            | 5.1                  | La temperatura de ensayo está relacionada con las temperaturas experimentadas por el pavimento en el área geográfica en el cual el ligante asfáltico se considera usar.   | 5.1     | La temperatura para este ensayo está basada en las temperaturas experimentadas por el pavimento durante el invierno de la zona geográfica en que el ligante asfáltico será utilizado.   | 5.1     | La temperatura para este ensayo está basada en las temperaturas experimentadas por el pavimento durante en la zona geográfica en que el ligante asfáltico será utilizado.   | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E12 | Interferencias     | Deflexión                                       | -                    | No especifica.  | 6.1     | Deflexiones mayores a 4,0 [mm] el punto medio de la probeta son sospechosas debido a que exceden la respuesta lineal del ligante asfáltico.   | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E13 | Interferencias     | Deflexión                                       | -                    | No especifica.  | 6.2     | Deflexión menor a 0,08 [mm] en el punto medio de la probeta son sospechosas. Cuando esto sucede puede ser que la resolución del sistema no sea suficiente para entregar resultados fiables.   | -       | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E14 | Aparatos           | Sistema de ensayo BBR                           | 6.1                  | No especifica.  | 7.1 (4) | Moldes de ensayo.   | 6.1 (4) | Moldes de ensayo.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E15 | Aparatos           | Sistema de ensayo BBR                           | 6.1                  | No especifica.  | 7.1 (5) | Ítems para verificar y calibrar el sistema.   | 6.1 (5) | Ítems para verificar y calibrar el sistema.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E16 | Aparatos           | Sistema de carga                                | 6.1                  | No especifica.  | 7.3     | Sistema de carga capaz de aplicar una carga de contacto de 35 ± 10 [mN] a la viga de ensayo y mantener un carga de ensayo de 980 ± 50 [mN].   | 6.1.1.1 | Sistema de carga capaz de aplicar una carga de contacto de 35 ± 10 [mN] a la viga de ensayo y mantener un carga de ensayo de 980 ± 50 [mN].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E17 | Aparatos           | Requerimientos del sistema de carga             | 6.1.a                | El tiempo de carga del ensayo debe ser menor a 0,5 [s]. Donde el tiempo de carga de ensayo se define como el tiempo requerido para que la carga se incremente desde una pre-carga de 35 ± 10 [mN] hasta la carga de ensayo de 980 ± 50 [mN]. Durante el tiempo de carga, el sistema amortiguará la carga de ensayo luego de los primeros 5 [s] a un valor constante de ± 10 [mN]. | 7.3.1   | El tiempo para alcanzar la carga de ensayo (980 ± 50 [mN]) a partir de la carga de contacto (35±10 [mN]) será menor a 0,5 [s]. Durante este periodo, el sistema deberá amortiguar la carga de ensayo. Entre 0,5 a 5 [s], la carga de ensayo estará dentro de ± 50 [mN] del promedio de la carga de ensayo y luego será dentro de ± 10 [mN]. | 6.1.1.2 | El tiempo para alcanzar la carga de ensayo (980 ± 50 [mN]) a partir de la carga de contacto (35 ± 10 [mN]) será menor a 0,5 [s]. Durante este periodo, el sistema deberá amortiguar la carga de ensayo. Entre 0,5 a 5 [s], la carga de ensayo estará dentro de ± 50 [mN] del promedio de esta carga y luego será dentro de ± 10 [mN]. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E18 | Aparatos           | Marco de carga, apoyos de la viga               | 6.1.a                | Soporte horizontal con superficie superior curva de radio 3,0 ± 0,25 [mm].  | 7.3.5   | Soporte horizontal con superficie superior curva de radio 3,0 ± 0,3 [mm].   | 6.1.1.3 | Soporte horizontal con superficie superior curva de radio 3,0 ± 0,3 [mm].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E19 | Aparatos           | Marco de carga, apoyos de la viga               | 6.1.a                | Separación de los soportes 102,0 ± 0,5 [mm].  | 7.3.5   | Separación de los soportes 102,0 ± 1 [mm].  | 6.1.1.3 | Separación de los soportes 102,0 ± 1 [mm].  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E20 | Aparatos           | Marco de carga, apoyos de la viga               | 6.1.a                | No especifica.  | 7.3.5   | La distancia entre los soportes se medirá con precisión de ± 0,3 [mm] y la distancia exacta debería ser usado para los cálculos de la sección 14. Los soportes estarán dimensionadas para asegurar que la muestra de prueba permanece en contacto con la parte redondeada del soporte durante todo el ensayo (ver Fig. 3).                  | 6.1.1.3 | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E21 | Aparatos           | Marco de carga, diámetro chavetas               | 6.1.a                | No especifica.  | 7.3.5.2 | 2 a 4 [mm].   | 6.1.1.3 | 2 a 4 [mm].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 4        |
| E22 | Aparatos           | Marco de carga, vástago de carga                | 6.1.a                | Radio= 6,25 ± 0,25 [mm].  | 7.3.2   | Radio= 6,3 ± 0,3 [mm].  | 6.1.1.4 | Radio= 6,25 ± 0,3 [mm].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E23 | Aparatos           | Marco de carga, vástago de carga, tolerancia    | 6.1.a                | Constante dentro de ± 5 [mN], usando presión diferencial de aire u otro medio para tal ajuste como, por ejemplo, un sistema electro hidráulico.   | 7.3.2   | No especifica.  | 6.1.1.4 | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E24 | Aparatos           | Baño líquido                                    | 6.1.b                | Rango de temperatura: -36 a 22 [°C].  | 7.5     | Rango de temperatura: -36 a 0 [°C].   | 6.1.2   | Rango de temperatura: -36 a 0 [°C].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E25 | Aparatos           | Sistema de adquisición de datos                 | 6.1.c                | El sistema debe registrar la carga y deflexión a los 0,0; 0,5; 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 [s].  | 7.6     | El sistema debe registrar la carga y deflexión a los.: 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 [s].  | 6.1.3   | El sistema debe registrar la carga y deflexión a los 0,0; 0,5; 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 [s].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |   | ASTM    |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---|---------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)  | ITEM    | D6648-08   | ITEM   | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E26 | Aparatos        | Sistema de adquisición de datos   | 6.1.c                | Cada registro será el promedio de tres o más lecturas.  | 7.6.1   | Cada registro será el promedio de cinco o más lecturas.  | 6.1.3  | Cada registro será el promedio de tres o más lecturas.   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E27 | Aparatos        | Equipo de medición de temperatura   | 6.2                  | Rango de lectura -36 [°C] a 22 [°C].  | 7.4     | Rango de lectura: -36 a 0 [°C].  | 6.2    | Rango de lectura: -36 a 0 [°C].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 5        |
| E28 | Aparatos        | Molde para viga de ensayo, tolerancia largo   | 6.3                  | 127 ± 2,0 [mm]  | 7.7     | 127 ± 5,0 [mm]   | 6.3    | 127 ± 2,0 [mm]   | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E29 | Aparatos        | Molde para viga de ensayo, materialidad   | 6.3                  | Aluminio liso.  | 7.7     | Acero inoxidable o aluminio, silicona.   | 6.3    | Aluminio liso.   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 3        |
| E30 | Aparatos        | Dimensión moldes acero inoxidable   | 8.302.25.B           | Placa base: 6,35 x 19 x 165 [mm].<br>Placa Lateral: 6,35 x 12,7 x 165 [mm].<br>Placa Terminal: 6,35 x 12,7 x 19 [mm].                   | FIG. 4  | Placa base: 6,35 x 19,1 x 165 [mm].<br>Placa Lateral: 6,35 x 12,7 ± 0,05 x 165 [mm].<br>Placa Terminal: 6,35 ± 0,05 x 12,7x 10,1 [mm].   | Fig.2  | Placa base: 6,35 x 19 x 165 [mm].<br>Placa Lateral: 6,35 x 12,7 x 165 [mm].<br>Placa Terminal: 6,35 x 12,7 x 19 [mm].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E31 | Aparatos        | Laminas plásticas para moldes de acero inoxidable   | 8.302.25.B           | P1: 12,7 x 178 [mm].<br>P2: 19 x 165 [mm].  | FIG. 4  | P1: 12,7 x 178 [mm].<br>P2: 19,1 x 165 [mm].   | Fig.2  | P1: 12,7 x 178 [mm].<br>P2: 19 x 165 [mm].   | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E32 | Aparatos        | Moldes  | -                    | No especifica.  | 7.7.1   | El espesor de los dos espaciadores utilizados para cada molde (pequeño piezas de los extremos utilizados en los moldes metálicos) será medidos con un micrómetro y cumplir con los requerimientos de la sección 7.7. Las mediciones serán registradas como parte del programa de control de calidad del laboratorio. | 6.3.1  | El espesor de los dos espaciadores utilizados para cada molde (pequeño piezas de los extremos utilizados en los moldes metálicos) serán medidos con un micrómetro y su espesor no debe variar en más de 0,05 [mm] entre ellas. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E33 | Aparatos        | Moldes  | -                    | No especifica.  | -       | No especifica.   | Note 2 | Pequeños errores en el espesor de las probetas pueden tener grandes efectos en el cálculo del módulo, debido a que el módulo se obtiene en función del espesor, h, elevado a tercera potencia.                                 | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E34 | Aparatos        | Vigas de acero inoxidable, para medición de la deformación y calibración de la celda de carga     | 6.4                  | Espesor= 6,35 ± 0,1 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,2 [mm].<br>Largo = 127 ± 2,0 [mm].   | 7.8.1   | Espesor= 6,4 ± 0,3 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,3 [mm].<br>Largo = 127 ± 5,0 [mm].   | 6.4.1  | Espesor= 6,4 ± 0,1 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,25 [mm].<br>Largo = 127 ± 5,0 [mm].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E35 | Aparatos        | Viga de acero inoxidable para medida de la deformación y calibración de la celda de carga         | 6.4                  | No especifica.  | 7.8.1   | Cuando esta viga es utilizada para medir el espesor de la probeta del ensayo como en la sección 13.2, el espesor de esta viga se medirá con precisión de 0,01 [mm]. Esta medición se utilizará en el cálculo del espesor de la probeta cuando se utilizan las ecuaciones en la sección 13.2.3.1.                     | 6.4.1  | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E36 | Aparatos        | Vigas de acero inoxidable, para comprobar desempeño del reómetro                                  | 6.4                  | Espesor= 1,0 a 1,6 ± 0,1 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,1 [mm].<br>Largo = 127 ± 1,0 [mm].  | 7.8.2   | Espesor= 1,0 a 1,6 ± 0,1 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,1 [mm].<br>Largo = 127 ± 5,0 [mm].   | 6.4.2  | Espesor= 1,3 ± 0,1 [mm].<br>Ancho= 12,7 ± 0,1 [mm].<br>Largo = 127 ± 5,0 [mm].   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E37 | Aparatos        | Moldes de silicona  | -                    | No especifica.  | FIG.6   | Anexo F  | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E38 | Aparatos        | Viga de acero inoxidable, precisión de las dimensiones de la viga para chequeo del sistema global | 6.4                  | 0,01 [mm].  | 7.8.2   | Espesor a 0,01 [mm] y ancho a 0,05 [mm].   | 6.4.2  | Espesor a 0,01 [mm] y ancho a 0,05 [mm].   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E39 | Aparatos        | Masas estándares, verificación de la calibración de la celda de carga                             | 6.5                  | Una o más masas estandarizadas de 50,0 a 100,0 [g], certificadas a ± 0,2 [g], para la verificación periódica de la calibración del BBR. | 7.8.3.1 | Una o más masas de un total de 100 ± 0,2 [g] y dos masas de 2 ± 0,2 [g] cada una para verificar la calibración de la celda de carga.   | 6.5.1  | Una o más masas que sumen 100 ± 0,2 [g] y dos masas de 2 ± 0,2 [g] cada una (ver nota 3) para verificar la calibración de la celda de carga.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                              | ASTM    |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|------------------------------|---------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)         | ITEM    | D6648-08  | ITEM   | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E40 | Aparatos        | Masas estándares, opcional  |                      | No especifica.               |         | No especifica.  | Note 3 | Se puede utilizar cualquier objeto adecuado si se confirma que su masa corresponde a $2 \pm 0,2$ [g].                                     | NO          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| E41 | Aparatos        | Masas estándares, calibración de la celda de carga  | 6.5                  | No especifica.               | 7.8.3.2 | Cuatro masas, cada una de masa conocida $\pm 0,2$ [g], igualmente espaciadas en masa por encima del rango de la celda de carga.   | 6.5.2  | Cuatro masas, cada una de masa conocida $\pm 0,2$ [g], igualmente espaciadas en masa por encima del rango de la celda de carga.           | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E42 | Aparatos        | Masas estándares, chequeo diario del sistema global   | 6.5                  | No especifica.               | 7.8.3.3 | Dos o más masas, cada una de masa conocida $\pm 0,2$ [g], para llevar a cabo el chequeo del sistema global como lo especifica el fabricante (ver sección 11.4).   | 6.5.3  | Dos o más masas, cada una de masa conocida de 0,2 [g], para llevar a cabo el chequeo del sistema global como lo especifica el fabricante. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E43 | Aparatos        | Masas estándares, exactitud de las masas  | 6.5                  | No especifica.               | 7.8.3.4 | La exactitud indicada en la sección 7.8.3 debe ser verificada por lo menos una vez cada tres años.  | 6.5.4  | La exactitud indicada en la sección 6.5 debe ser verificada por lo menos una vez cada tres años.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E44 | Aparatos        | Termómetros calibrados, frecuencia  | 6.6                  | No especifica.               | 7.9.1   | Termómetro de mercurio, una vez al año.   | 6.6    | Termómetro de mercurio o electrónicos una vez al año.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
|     |                 |   |                      |                              | 7.9.2   | Basado en un sensor de platino o termistor calibrada, una vez al año.   |        |   |             |                    |                |          |
| E45 | Aparatos        | Medidor de espesor, exactitud   | 6.7                  | No especifica.               | 7.8.4   | Con el espesor medido a $\pm 0,5$ [ $\mu$ m].   | 6.7    | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E46 | Aparatos        | Dispositivo de alineación (opcional)  | -                    | No especifica.               | 7.10    | Accesorio suministrado por el fabricante para fijar el eje del vástago de carga, para que la carga sea aplicado en el centro transversal y longitudinal de la viga de ensayo.   | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E47 | Materiales      | Láminas plásticas, características  | 7.1                  | No especifica.               | 8.1     | La lámina debe ser suficientemente rígida para que la contracción del asfalto no la distorsione o tire de la superficie de metal cuando la muestra es enfriada.   | 7.1    |   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E48 | Materiales      | Láminas plásticas, mica   | 7.1                  | Espesor de 0,08 - 0,15 [mm]. | 8.1.1   | Espesor de 0,08 - 0,15 [mm].  | 7.1    | Espesor de $0,12 \pm 0,04$ [mm].  | NO          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 2        |
| E49 | Materiales      | Láminas para moldes de acero inoxidable   | -                    | No especifica.               | 8.1.2   | Láminas plásticas para moldes de acero inoxidable de 4,0 a 5,0 [mm] de espesor, recubierto en ambos lados.  | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E50 | Materiales      | Láminas para moldes de silicona   | -                    | No especifica.               | 8.2     | Lámina de caucho o silicona para revestir el espacio entre el plato de vidrio y el molde de silicona. El ligante asfáltico caliente no deberá distorsionar la lámina cuando se prepare la probeta. La lámina será lo suficiente rígida para que la contracción del ligante asfáltico no la distorsione o tire desde el plato de vidrio cuando la probeta es enfriada. | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E51 | Materiales      | Láminas de silicona   | -                    | No especifica.               | Note 2  | Láminas de silicona, de $10 \pm 0,5$ [mm] de espesor, Shore A Hardness 60 ha sido considerado aceptable para este propósito.  | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E52 | Materiales      | Material para adherir las láminas a las caras del interior del molde                            | 7.2                  | Grasa a base de petróleo     | 8.3     | Grasa a base de petróleo, mezcla de glicerina y dextrina, talco o caolín (arcilla para loza china), resina versamida y aceite mineral.  | 7.2    | Grasa a base de petróleo  | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E53 | Materiales      | Material utilizado como desmoldante para revestir las piezas extremas de los moldes de aluminio | 7.3                  | Mezcla glicerol-talco        | 8.4     | Grasa a base de petróleo, mezcla de glicerina y dextrina, talco o caolín (arcilla para loza china), resina versamida y aceite mineral.  | 7.3    | Mezcla glicerol-talco   | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|--|------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM | D6648-08   | ITEM   | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E54 | Materiales      | Mezcla Glicerol-Talco   | 7.3                  | Para este propósito, se puede utilizar una mezcla de 20 % en peso de glicerina grado USP y 80 % de talco grado USP o caolín (arcilla para loza china). | 8.3  | No especifica.   | Note 6 | Para este propósito, se puede utilizar una mezcla de 50 % en peso de glicerina grado USP y 50 % de talco grado USP o caolín (arcilla para loza china).   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E55 | Materiales      | Baño líquido, fluidos adecuados   | 7.4                  | Etanol, metanol, mezclas de glicolmetanol.   | 8.5  | Etanol, metanol, isopropanol estabilizado, mezclas de glicolmetanol.   | 7.4    | Etanol, metanol, mezclas de glicolmetanol.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E56 | Materiales      | Baño líquido  | 7.4                  | No especifica.   | 8.5  | Fluidos de silicona o mezclas que contengan silicona no deben ser utilizadas.  | 7.4    | Fluidos de silicona o mezclas que contengan silicona no deben ser utilizadas.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E57 | Peligros        | Procedimientos de seguridad   | -                    | No especifica.   | 9.1  | Se debe observar los procedimientos de seguridad estandarizados para la manipulación del ligante asfáltico y preparación de las probetas de prueba.  | 8.1    | Se debe observar los procedimientos de seguridad estandarizados para la manipulación del ligante asfáltico y preparación de las probetas de prueba.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E58 | Peligros        | Procedimientos de seguridad   | -                    | No especifica.   | 9.2  | Los baños de alcohol son inflamables y tóxicos. Coloque el controlador de temperatura del baño en un área ventilada y lejos de fuentes de inflamación. Evitar la inhalación del vapor de alcohol, y el contacto del fluido con la piel.  | 8.2    | Los baños de alcohol son inflamables y tóxicos. Coloque el controlador de temperatura del baño en un área ventilada y lejos de fuentes de inflamación. Evitar la inhalación del vapor de alcohol y el contacto del fluido con la piel.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E59 | Peligros        | Procedimientos de seguridad   | -                    | No especifica.   | 9.3  | El contacto del baño líquido a bajas temperaturas con la piel puede causar quemaduras.   | 8.3    | El contacto del baño líquido a bajas temperaturas con la piel puede causar quemaduras.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E60 | Estandarización | Verificación del transductor de desplazamiento, preparación para realizar la verificación | 9.1.a                | No especifica.   | 11.1 | Con el marco de carga montado en el baño líquido a la temperatura de ensayo, remover todas las vigas de los soportes y colocar el calibrador de espesor escalonado a los pies del vástago de carga de acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | 10.1.3 | Con el marco de carga montado en el baño líquido a la temperatura de ensayo, remover todas las vigas de los soportes y colocar el calibrador de espesor escalonado a los pies del vástago de carga de acuerdo a las instrucciones del fabricante.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E61 | Estandarización | Verificación del transductor de desplazamiento, procedimiento                             | 9.1.a                | No especifica.   | 11.1 | Aplicar una masa 100 ± 0.2 [g] al vástago de carga, y mida la elevación con los escalones con el transductor de desplazamiento. Compare las mediciones indicadas por el sistema de adquisición de datos con la dimensión conocida del calibrador de espesor escalonado.  | 10.1.3 | Aplicar una masa 100 ± 0.2 [g] al vástago de carga, y mida la elevación con los escalones con el transductor de desplazamiento. Compare las mediciones indicadas por el sistema de adquisición de datos con la dimensión conocida del calibrador de espesor escalonado.  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E62 | Estandarización | Verificación del transductor de desplazamiento, tolerancia mediciones                     | 9.1.a                | Si las mediciones varían más de ± 5 [µm].  | 11.1 | Si las mediciones varían más de ± 15 [µm].   | 10.1.3 | Si las mediciones varían más de ± 5 [µm].  | SI          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E63 | Estandarización | Verificación del transductor de desplazamiento, informe de la constante                   | 9.1.a                | Informe la constante de calibración [µm/bit] para los transductores de desplazamiento con 3 cifras significativas.                                     | 11.1 | No especifica.   | 10.1.3 | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E64 | Estandarización | Verificación de la libre operación del sistema de presión de aire                         | -                    | No especifica.   | 11.2 | Cada día, antes del ensayo, verificar si el sistema de presión de aire está operando libremente y se encuentra libre de fricción. Las Secciones 11.2.1 y 11.2.2 se usaran para verificar que el vástago esté libre de la fricción. Si los requerimientos de las secciones 11.2.1 y 11.2.2 no se cumplen, hay fricción en el soporte lubricado por aire. Se debe limpiar el vástago y ajustar el espacio libre del transductor de desplazamiento según las instrucciones del fabricante. Si esto no elimina la fricción, discontinuar el uso del BBR y consultar al fabricante. | 10.1.2 | Cada día, antes del ensayo, verificar si el sistema de presión de aire está operando libremente y se encuentra libre de fricción. Las Secciones 10.1.2.1 y 10.1.2.2 se usaran para verificar que el vástago esté libre de la fricción. Si los requerimientos de las secciones 10.1.2.1 y 10.1.2.2 no se cumplen, hay fricción en el soporte lubricado por aire. Se debe limpiar el vástago y ajustar el espacio libre del transductor de desplazamiento según las instrucciones del fabricante. Si esto no elimina la fricción, discontinuar el uso del BBR y consultar al fabricante. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM   |  | AASHTO   |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|--|--------|--|----------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM   | D6648-08   | ITEM     | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E65 |                 |   | -                    | No especifica.   | Note 5 | La fricción puede ser causada por un ajuste deficiente que deja un desplazamiento en el centro del transductor que permite una acumulación de ligante asfáltico en el vástago de carga, junto al aceite u otras partículas que son transportadas por el aire, entre otras causas.  | Note 9   | La fricción puede ser causada por un ajuste deficiente que deja un desplazamiento en el centro del transductor que permite una acumulación de ligante asfáltico en el vástago de carga, junto al aceite u otras partículas que son transportadas por el aire, entre otras causas.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E66 | Estandarización | Verificación de la libre operación del sistema de presión de aire | -                    | No especifica.   | 11.2.1 | Colocar la viga delgada de acero inoxidable (sección 7.8.2) en los apoyos, y aplicar una carga de $35 \pm 10$ [mN] a la viga usando la carga cero regulada. Observar la lectura del LVDT indicada por el sistema de adquisición de datos. Agarrar suavemente la plataforma de carga y se levantar el vástago aproximadamente 5 [mm] observando la lectura del LVDT. Cuando el vástago se suelta, inmediatamente debe sufrir un leve desplazamiento y quedar el contacto con la viga.   | 10.1.2.1 | Colocar la viga delgada de acero inoxidable (sección 6.4.2) en los apoyos, y aplicar una carga de $35 \pm 10$ [mN] a la viga usando la carga cero regulada. Observar la lectura del LVDT indicada por el sistema de adquisición de datos. Agarrar suavemente la plataforma de carga y se levantar el vástago aproximadamente 5 [mm] observando la lectura del LVDT. Cuando el vástago se suelta, inmediatamente debe sufrir un leve desplazamiento y quedar el contacto con la viga.   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E67 |                 |   | -                    | No especifica.   | 11.2.2 | Remover cualquier viga de los apoyos. Usar la carga cero regulada para ajustar el vástago de carga hasta que se encuentre flotando libremente aproximadamente en el punto medio de su desplazamiento vertical. Adicionar suavemente una moneda u otra masa de aproximadamente 2 [g] al estante cargante. El vástago debe descender suavemente bajo la masa.  | 10.1.2.2 | Remover cualquier viga de los apoyos. Usar la carga cero regulada para ajustar el vástago de carga hasta que se encuentre flotando libremente aproximadamente en el punto medio de su desplazamiento vertical. Adicionar suavemente una moneda u otra masa de aproximadamente 2 [g] al estante cargante. El vástago debe descender suavemente bajo la masa.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E68 | Estandarización | Verificación celda de carga, espesor viga                         | 9.1.b                | 6,35 [mm].   | 11.3.1 | 6,35 [mm].   | 10.1.5.1 | 6,4 [mm].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E69 | Estandarización | Verificación celda de carga                                       | 9.1.b                | Usando cuatro cargas estáticas estandarizadas, distribuidas uniformemente sobre el rango de carga del ensaye. Realice la calibración dejando la columna de carga sobre la viga de acero inoxidable de espesor de 6,35 [mm] y cárguela secuencialmente con las cuatro masas, en cuatro etapas sucesivas registrando la carga después de cada etapa. Si la carga indicada por el sistema de adquisición de datos no concuerda con la fuerza impuesta por las masas dentro de $\pm 2$ [mN] en todas las etapas, se requerirá una calibración o mantenimiento adicional. Informe la constante de calibración, [mN/bit], para los transductores de carga con 3 cifras significativas. Las medidas de calibración serán reproducibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será considerada sospechosa. | 11.3.1 | Carga de contacto: Diariamente, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de contacto. Colocar la viga de acero inoxidable (viga del sistema de medición de deformabilidad) de 6,35 [mm] de espesor (sección 7.8.1) sobre los apoyos. Aplicar una carga de $20 \pm 10$ [mN] a la viga y utilizar para ello el regulador de presión para la carga cero. Agregar la masa de $2,0 \pm 0,2$ [g] a la plataforma de carga especificado en la sección 7.8.3. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser $20 \pm 5$ [mN]. Si el aumento en la carga no es de $20 \pm 5$ [mN], se requiere una calibración. Si no se pueden reunir los requisitos para la carga de contacto después de la calibración, descontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante. | 10.1.5.1 | Carga de contacto: Diariamente, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de contacto. Colocar la viga de acero inoxidable (viga del sistema de medición de deformabilidad) de 6,35 [mm] de espesor (sección 6.4.1) sobre los apoyos. Aplicar una carga de $20 \pm 10$ [mN] a la viga y utilizar para ello el regulador de presión para la carga cero. Agregar la masa de $2,0 \pm 0,2$ [g] a la plataforma de carga especificado en la sección 6.5.1. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser $20 \pm 5$ [mN]. Si el aumento en la carga no es de $20 \pm 5$ [mN], se requiere una calibración. Si no se pueden reunir los requisitos para la carga de contacto después de la calibración, descontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |                                       | ASTM     |  | AASHTO   |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|---|----------------------|---------------------------------------|----------|--|----------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |   | ÍTEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)                  | ÍTEM     | D6648-08   | ÍTEM     | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E70 |                 |   |                      |                                       | 11.3.2   | Carga de ensayo: Cada día, antes de realizar el ensayo, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de carga de ensayo. Colocar la viga de acero inoxidable (para desplazamiento) de 6,4 [mm] de espesor (sección 7.8.1) en los apoyos. Utilizar la carga cero regulada (carga de contacto) para aplicar la carga de $20 \pm 10$ [mN] a la viga. Agregar una masa de 100 [g] a la plataforma de carga. El aumento de carga desplegada por el sistema de adquisición de datos debe ser de $981 \pm 5$ [mN]. De lo contrario, calibrar la celda de carga. Si los requisitos para la carga de ensayo no se pueden cumplir después de la calibración, se debe descontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante. | 10.1.5.2 | Carga de ensayo: Cada día, antes de realizar el ensayo, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de carga de ensayo. Colocar la viga de acero inoxidable (para desplazamiento) de 6,4 [mm] de espesor (sección 6.4.1) en los apoyos. Utilizar la carga cero regulada (carga de contacto) para aplicar la carga de $20 \pm 10$ [mN] a la viga. Agregar una masa de 100 [g] a la plataforma de carga. El aumento de carga desplegada por el sistema de adquisición de datos debe ser de $981 \pm 5$ [mN]. De lo contrario, calibrar la celda de carga. Si los requisitos para la carga de ensayo no se pueden cumplir después de la calibración, se debe descontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E71 | Estandarización | Verificación del cero de la celda de carga              | -                    | No especifica.                        | 11.3.3   | Verificación del cero de la celda de carga, antes de que se lleven a cabo las pruebas de la celda de carga y con el marco de carga montado en el baño líquido, llevar el vástago de carga a la posición vertical que va a ocupar en el comienzo del ensayo (Posición de inicio).   | -        | No especifica.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
|     |                 |   |                      |                                       | 11.3.3.1 | La posición vertical del vástago en el inicio del ensayo, cuando se aplica la carga de contacto se determinará mediante la colocación de la viga de acero inoxidable (ver sección 7.8.1) en los soportes y una masa de 100 [g] en la plataforma de carga. La lectura indicada para la posición del transductor indica la posición aproximada del vástago cuando se ensaya la viga de espesor 6,35 [mm].  |          |  |             |                    |                |          |
|     |                 |   |                      |                                       | Note 6   | La carga indicada por la celda de carga se ve afectada por la fuerza de empuje causada por la inmersión del vástago en el baño líquido. Los cambios en el nivel del líquido de baño y la densidad del baño líquido también puede afectar el cero de la celda de carga.   |          |  |             |                    |                |          |
|     |                 |   |                      |                                       | 11.3.3.2 | Mientras que flotan libremente en esta posición el dispositivo BBR indicará $0 \pm 5$ [mN]. Si los requisitos de la Sección 11.3.3 no pueden ser satisfechos después de la calibración, descontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.   |          |  |             |                    |                |          |
| E72 | Estandarización | Verificación del transductor de temperatura, frecuencia | 9.1.c                | Cada día antes de realizar el ensayo. | 11.1     | Cada día, antes de realizar el ensayo, y todas las veces que varíe la temperatura de ensayo.   | 10.1.1   | Cada día, antes de realizar el ensayo, y todas las veces que varíe la temperatura de ensayo.   | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 4        |
| E73 | Estandarización | Prueba de carga, espesor de la viga                     | 9.2                  | 6,35 [mm].                            | 11.3.2   | 6,4 [mm].  | 10.1.5.2 | 6,4 [mm].  | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM |  | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|-----------------|--|----------------------|--|------|--|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                 |  | ÍTEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ÍTEM | D6648-08   | ÍTEM   | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E74 | Estandarización | Prueba de carga, deflexión medida  | 9.2                  | Determine la deformabilidad del sistema de carga colocando la viga de acero de 6,35 [mm] de espesor sobre los apoyos de ensaye, poniendo el extremo de la columna de carga contra la viga de acero inoxidable y aplicando la carga de 980 ± 50 [mN]. La deflexión medida será causada por la celda de carga u otras partes del sistema de ensaye. El sistema de adquisición de datos debe ser capaz de dividir la medida de deflexión por la carga aplicada. El cociente, informado por el sistema de adquisición de datos, es la deformabilidad del sistema de carga en [µm/N]. El valor típico de deformabilidad es de 2 a 5 [µm/N]. Si la deformabilidad es mayor a 5 [µm/N] se debe realizar una mantención o calibración adicional. Durante el ensaye, el sistema de adquisición de datos automáticamente descontará la deformabilidad del sistema de carga, a partir de la medida de deflexión durante un ensaye.  | -    | No especifica.   | -      | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E75 | Estandarización | Verificación general diaria del sistema  | 9.3                  | Diariamente, realice una verificación general del funcionamiento del sistema, usando la viga de acero inoxidable de espesor 1,0 a 1,6 [mm] y de módulo conocido. Cargue la viga de acero con 1.961 [mN] (200 [g]) usando las masas estandarizadas y midiendo la deflexión en la mitad de la luz (distancia entre los apoyos de la viga). Calcule el módulo elástico de la viga a partir de la carga aplicada y la deflexión medida, y compárelo con el módulo conocido. Si el módulo calculado difiere del medido (de acuerdo a lo informado por el fabricante) en 10 % o más, la operación del sistema será considerado dudosa. En dicho caso, realice el mantenimiento del sistema y repita 9. El sistema de adquisición de datos puede ser usado para registrar la deflexión después de un tiempo de carga especificado (usualmente 20 [s]), realice los cálculos del módulo y compare el módulo calculado con el módulo conocido. Esta comparación debe registrarse como parte de los resultados de los ensayos de asfaltos para el día en que se realiza la verificación. | 11.4 | Cada día, antes de realizar las pruebas y con el marco de carga montado en el baño líquido, realizar el chequeo del funcionamiento global del sistema. Colocar la viga delgada de acero inoxidable de módulo conocido de 1,3 ± 0,3 [mm] de espesor, en los apoyos de la muestra cómo se describe en la sección 7.8.2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante se coloca la viga en los soportes y aplica una masa inicial de 50,0 o 100,0 ± 0,2 [g] (491 o 981 ± 2 [mN]) a la viga. Asegurar que la viga se asiente completamente en los apoyos. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar una segunda carga adicional de 100,0 a 300,0 ± 0,2 [g] a la viga. El software proporcionado por el fabricante usará cambios de carga y cambios asociados de deflexión para calcular el módulo de la viga con tres cifras significativas. El módulo reportado por el software deberá estar dentro de 10 % del módulo informado por el fabricante de la viga, de lo contrario, el funcionamiento global del BBR será considerado sospechoso y se deberá consultar al fabricante. | 10.1.4 | Cada día, antes de realizar las pruebas y con el marco de carga montado en el baño líquido, realizar el chequeo del funcionamiento global del sistema. Colocar la viga delgada de acero inoxidable de módulo conocido de 1,3 ± 0,3 [mm] de espesor, en los apoyos de la muestra cómo se describe en la sección 6.4.2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante se coloca la viga en los soportes y aplica una masa inicial de 50,0 o 100,0 ± 0,2 [g] (491 o 981 ± 2 [mN]) a la viga. Asegurar que la viga se asiente completamente en los apoyos. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar una segunda carga adicional de 100,0 a 300,0 ± 0,2 [g] a la viga. El software proporcionado por el fabricante usará cambios de carga y cambios asociados de deflexión para calcular el módulo de la viga con tres cifras significativas. El módulo reportado por el software deberá estar dentro de 10 % del módulo informado por el fabricante de la viga, de lo contrario, el funcionamiento global del BBR será considerado sospechoso y se deberá consultar al fabricante. | NO          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E76 | Estandarización | Verificación de la alineación del frente y de la parte de atrás del eje de carga, frecuencia | -                    | No especifica.   | 11.6 | Cuando el instrumento es instalado o de lo contrario cuando la alineación del vástago de carga es sospechosa debido a la manipulación.   | 10.1.6 | Cada 6 meses   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM                        | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                      | ASTM   |  | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|--|--|----------------------|----------------------|--------|--|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |  |  | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003) | ITEM   | D6648-08   | ITEM   | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E77 | Estandarización                        | Verificación de la alineación del frente y de la parte de atrás del eje de carga | -                    | No especifica.       | 11.6   | Verificar la alineación del vástago de carga con el centro de la muestra, apoyada con un calibrador de alineación proporcionado por el fabricante o por la siguiente medición: Se corta una tira de papel blanco de aproximadamente 25 [mm] de longitud y ligeramente más estrecha que la viga de deformación. Se pega la tira de papel al centro de la viga de deformación con cinta adhesiva. Sacar el marco de carga del baño, colocar la viga de calibración en los apoyos y luego un pedazo pequeño de papel calco sobre la hoja blanca. Aplicando aire a presión al soporte, empujar el vástago hacia abajo causando la impresión del papel calco en el papel blanco. Remueva la viga y mida la distancia desde el centro de la impresión a cada borde de la viga con un micrómetro. La diferencia entre las dos medidas debe ser 1,0 [mm] o menor. Si este requisito no se cumple, contactar al fabricante del dispositivo. | 10.1.6 | Verificar la alineación del vástago de carga con el centro de la muestra apoyada con un calibrador de alineación proporcionado por el fabricante o por la siguiente medición: Se corta una tira de papel blanco de aproximadamente 25 [mm] de longitud y ligeramente más estrecha que la viga de deformación. Se pega la tira de papel al centro de la viga de deformación con cinta adhesiva. Sacar el marco de carga del baño, colocar la viga de calibración en los apoyos y luego un pedazo pequeño de papel calco sobre la hoja blanca. Aplicando aire a presión al soporte, empujar el vástago hacia abajo causando la impresión del papel calco en el papel blanco. Remueva la viga y mida la distancia desde el centro de la impresión a cada borde de la viga con un micrómetro. La diferencia entre las dos medidas debe ser 1,0 [mm] o menor. Si este requisito no se cumple, contactar al fabricante del dispositivo. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E78 | Preparación de las probetas de ensaye  | Moldes de silicona, alcance  | -                    | No especifica.       | Note 7 | Moldes de silicona pueden ser utilizados como una opción para el usuario pero los moldes metálicos serán utilizados para propósitos referenciales.   | -      | No especifica.  | NO          | M.C. - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E79 | Preparación de las probetas de ensaye  | Inspección molde metálico  | 10.1                 | No especifica.       | 12.1.1 | Eliminar los depósitos de ligante asfáltico, grasa u otros residuos de los moldes. Realizar una inspección visual de los componentes del molde metálico para verificar que estén libres de abolladuras, cortes o esquirlas que afecten la separación de las placas laterales y rechazar aquellos componentes con tales golpes, cortes y esquirlas.   | 11.1   | No especifica.  | SI          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E80 | Preparación de las probetas de ensaye  | Inspección molde metálico  | 10.1                 | No especifica.       | 12.1.1 | Las láminas de mica deformadas por el calentamiento previo no se utilizarán.   | 11.1   | No especifica.  | NO          | NO                 | ASTM           | 4        |
| E81 | Preparación de las probetas de ensaye. | Preparación molde de silicona  | 10.1                 | No especifica.       | 12.1.2 | Remover el ligante asfáltico, grasa u otro residuo con un paño limpio y seco. No lavar el molde con algún solvente orgánico, preparar el molde de silicona ensamblando las dos secciones del molde como se muestra en la Fig.5.  | 11.1   | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E82 | Preparación de las probetas de ensaye  | Preparación moldes de silicona   | 10.1                 | No especifica.       | Note 8 | Un paño humedecido con un solvente volátil que es esencialmente libre de residuos, tal como acetona o heptano, es apropiado para este fin, así como para eliminar las marcas en los moldes. Permitir que los moldes se sequen a temperatura ambiente durante al menos 10 [min] antes de su uso.  | 11.1   | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E83 | Preparación de las probetas de ensaye  | Desgasificar antes de ensayar  | -                    | No especifica.       | -      | No especifica.   | 11.3   | Si el asfalto también será ensayado de acuerdo a T314 (Ensayo de tracción directa), y acondicionado según T240 (HPDR) Y R28 (PAV), desgasificar el asfalto como se describe en R28 antes de ensayar. De otra manera, desgasificar la muestra no es necesario.   | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ITEM                       | DESCRIPCIÓN                            | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |   | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|---------------------------------------|--|----------------------|--|---------|---|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                                       |  | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM    | D6648-08  | ITEM   | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E84 | Preparación de las probetas de ensaye | Calentamiento del ligante              | 10.3                 | Caliente el material hasta que esté suficientemente fluido.  | 12.2.2  | Calentar el ligante asfáltico en el horno a $168 \pm 5$ [°C] hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. Agitar suavemente para homogeneizar la muestra. Si se encuentra lo suficientemente fluido se puede verter directamente el residuo PAV que ha sido desgasificado como se especifica en D6521.   | 11.4   | Caliente el material en un horno a temperatura mínima y por el menor tiempo que permita alcanzar una fluidez suficiente para ser vertida. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
|     |                                       |  |                      |  | Note 9  | Si el ligante asfáltico no se vierte fácilmente cuando se ha calentado en un horno a no más de 173 [°C] se puede calentar a una temperatura mayor hasta que esté suficientemente fluido y permita ser vertido. Si el ligante se calienta a una temperatura mayor que 173 [°C] la temperatura del horno y tiempo por encima de 173 [°C] debe ser notificado en el reporte.   |        |   |             |                    |                |          |
| E85 | Preparación de las probetas de ensaye | Calentamiento ligante no envejecido    | Note 5               | Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos a temperaturas superiores a 135 [°C], sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligante muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135 [°C]. El residuo obtenido del ensaye de envejecimiento acelerado en cámara de presión (método 8.302.23) debe ser puesto en sus bandejas y puede ser calentado hasta 163 [°C]. | -       | No especifica.  | -      | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E86 | Preparación de las probetas de ensaye | Distancia de llenado                   | 10.4                 | 20 a 100 [mm].   | 12.3.1  | 20 a 30 [mm].   | 11.5   | 20 a 100 [mm].  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E87 | Preparación de las probetas de ensaye | Corte de la muestra, acondicionamiento | 10.4                 | No especifica.   | Note 10 | Inmediatamente antes de recortar, una espátula caliente puede ser puesta en contacto momentáneo con la superficie del ligante asfáltico de modo que la superficie ablande sólo lo suficiente para aplanar la superficie. Este proceso se denomina a menudo "mantequilla" y se ha demostrado que mejora la calidad de las muestras de ensayo preparadas a partir de los grados más rígidos de ligantes. Este procedimiento no se debe usar con los grados de ligantes más bajos. | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E88 | Preparación de las probetas de ensaye | Llenado de moldes de silicona          | -                    | No especifica.   | 12.3.2  | Si la viscosidad del ligante no es la adecuada, el operador puede precalentar el molde de silicona en su soporte de aluminio en un horno de 135 [°C], máximo durante 30 minutos antes del llenado. Llenar el molde desde parte superior de forma lenta y continua evitando atrapar burbujas de aire. Llenar el molde hasta la parte superior sin apreciablemente sobrellenarlo. Permitir que el molde y su contenido se enfríen a temperatura ambiente durante 45 a 60 [min].   | -      | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E89 | Preparación de las probetas de ensaye | Temperatura del baño líquido           | 10.6                 | $-5 \pm 5$ [°C].   | 12.4.2  | No especifica.  | 11.7   | $-5 \pm 7$ [°C].  | NO          | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E90 | Preparación de las probetas de ensaye | Enfriamiento antes de desmoldar        | 10.6                 | 5 a 10 minutos.  | 12.4.2  | No más de 5 minutos.  | 11.7   | 5 a 10 minutos  | NO          | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 6        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°  | NOMBRE DEL ÍTEM                       | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|-----|---------------------------------------|--|----------------------|--|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|     |                                       |  | ÍTEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ÍTEM    | D6648-08   | ÍTEM    | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E91 | Preparación de las probetas de ensaye | Desmolde de la muestra                                     | 10.6                 | No especifica.   | 12.4.2  | En ningún caso se deberá desmoldar la muestra a temperaturas dentro de 10 [°C] de la temperatura de ensayo.  | 11.8    | No especifica.  | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E92 | Preparación de las probetas de ensaye | Desmolde de la muestra                                     | Nota 8               | Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real. | 12.4.3  | Para evitar la distorsión de la muestra, desmoldar la probeta deslizando las tiras de plástico y piezas laterales de metal desde el conjunto de molde y suavemente quitar las tiras de plástico o de papel de silicona de la muestra de ensayo.  | Note 14 | Minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. Para evitar la distorsión de la muestra, desmoldar la probeta deslizando las tiras de plástico y piezas laterales de metal desde el conjunto de molde y suavemente quitar las tiras de plástico de la muestra de ensayo. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
|     |                                       |  |                      |  | Note 14 | Si las micas o láminas se pegan a la muestra de ensayo, el espécimen con tiras unidas se puede sumergir en un baño tal como se describe en 12.4.2 por no más de 5 [s] para facilitar la eliminación de las tiras.  |         |   |             |                    |                |          |
| E93 | Procedimiento                         | Condiciones del ensayo                                     | -                    | No especifica.   | 13.1    | La carga de contacto se aplicará a la probeta dentro de los 60 ± 5 [min] después de que la probeta sea sumergida en el baño líquido y permanecerá dentro durante todo el periodo a la temperatura de ensayo ± 0,1 [°C]. El ensayo terminará dentro de 4 [h].   | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E94 | Procedimiento                         | Medición del espesor de la probeta                         | -                    | No especifica.   | 13.2    | El espesor de la probeta debe ser 6,35 [mm] especificado por el separador metálico del molde de las probetas (ver sección 7.7.1).  | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E95 | Procedimiento                         | Medición del espesor de la probeta                         | -                    | No especifica.   | 13.2.1  | Método opcional para medir espesor de la probeta de ensaye: 2 métodos para obtener el espesor (sección 13.2.2 y 13.2.3) puede ser usado a criterio del usuario. La medida del espesor (Sección 13.2) debería ser usada como método de referencia para moldes metálicos. Métodos 13.2.2 o 13.2.3 serán utilizados para moldes de silicona.  | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E96 | Procedimiento                         | Medición del espesor de la probeta para moldes de silicona | -                    | No especifica.   | Note 16 | La medida del espesor de la probeta de acuerdo con la sección 13.2.2. o 13.2.3. Reduce la variabilidad en los resultados los cuales tal vez estén fuera de rango producto de manipulación adicional. Cuando se utilizan los procedimientos de la sección 13.2.2. y 13.2.3, tenga cuidado de no deformar o distorsionar la probeta.   | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E97 | Procedimiento                         | Medición del espesor de la probeta para moldes de silicona | -                    | No especifica.   | 13.2.2  | Método directo: El espesor de la probeta se medirá con el calibrador de espesor o aparato similar. La probeta permanecerá sumergida a la temperatura de ensayo ± 0,2 [°C] durante la medición. El espesor será obtenido en el punto medio de la probeta con una precisión de 2,5 [µm] e ingresando al programa por el operador para ser utilizado en el cálculo de la rigidez de la probeta. | -       | No especifica.  | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |                      | ASTM     |  | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------|--|----------------------|----------------------|----------|--|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                 |  | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003) | ITEM     | D6648-08   | ITEM    | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E98  | Procedimiento   | Medición del espesor de la probeta para moldes de silicona | -                    | No especifica.       | 13.2.3   | Medición con transductor de desplazamiento: El espesor de la probeta será medido con el transductor de desplazamiento como se describe abajo. El espesor debe ser calculado a mano, usando un dispositivo lector de desplazamiento o ingresando a un software que realice el cálculo automáticamente. Calcule y reporte el espesor cercano a los 50 [µm] para utilizarlo en el cálculo de la rigidez de la probeta.  | -       | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E99  | Procedimiento   | Medición del espesor de la probeta para moldes de silicona | -                    | No especifica.       | 13.2.3.1 | Establezca el desplazamiento correspondiente a la parte superior de los soportes colocando la viga de acero inoxidable de espesor 6,35 [mm] en los soportes (sección 7.8.1). Aplique la carga de contacto de $35 \pm 10$ [mN] a la viga y guarde el desplazamiento obtenido como Rs1. Invierta la viga y obtenga una segunda lectura y guárdela como Rs2 Promedie las dos lecturas y registre el resultado como RS. Calcule el desplazamiento que corresponde a la parte superior de los soportes (ver fig.7):<br>$R_o = R_s + t_s$<br>Donde:<br>Ro: Desplazamiento correspondiente a la parte superior de los soportes.<br>Rs: Promedio de las dos lecturas de desplazamiento en contacto con la parte superior de la probeta de acero.<br>ts: Medida del espesor de la viga de acero. (Sección 7.8.1). | -       | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E100 | Procedimiento   | Medición del espesor de la probeta para moldes de silicona | -                    | No especifica.       | 13.2.3.2 | Establezca el espesor de la probeta inmediatamente antes de ensayarla colocando la probeta en los soportes. Aplique la carga de contacto de $35 \pm 50$ [mN] a la probeta y anote el desplazamiento como Ra1. Invierta la probeta y obtenga una segunda medición Ra2. Si las dos lecturas difieren más de 1,0 [mm] la lisura de la superficie de la probeta es sospechosa, deberá ser descartada. Calcule el espesor de la probeta como (ver Fig.7).<br>$t_a = R_o - R_a$<br>Donde:<br>ta: Espesor de la probeta,<br>Ro: Desplazamiento correspondiente a la parte superior de los soportes calculado como en la Eq.1 ,<br>Ra: Promedio de las dos mediciones de desplazamiento en contacto con la parte superior de la probeta.   | -       | No especifica.   | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E101 | Procedimiento   | Chequeo de carga de contacto y carga de ensayo             | 11.2                 | No especifica.       | 13.3     | Chequear el ajuste de la carga de contacto y carga de prueba con anterioridad al ensayo para cada juego de probetas. Se debe usar la viga de acero inoxidable de espesor 6,35 [mm] para chequear la carga de contacto y de ensayo.   | 12.2    | Chequear el ajuste de la carga de contacto y carga de prueba con anterioridad al ensayo para cada juego de probetas. Se debe usar la viga de acero inoxidable de espesor 6,35 [mm] para chequear la carga de contacto y de ensayo. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E102 | Procedimiento   | Chequeo carga de contacto y de ensayo                      | -                    | No especifica.       | Note 17  | No realice esta verificación con la viga más delgada o una probeta.  | Note 16 | No realice esta verificación con la viga más delgada o una probeta.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |   | AASHTO |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------|---|----------------------|--|---------|---|--------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                 |   | ÍTEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ÍTEM    | D6648-08  | ÍTEM   | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E103 | Procedimiento   | Chequeo de la carga de contacto y de la carga de prueba | -                    | No especifica.   | 13.3.1  | Colocar la viga de acero más gruesa en la posición de la viga. Usando válvula reguladora de la carga de ensayo, suavemente suba la fuerza aplicada hasta $980 \pm 50$ [mN].   | 12.2.1 | Colocar la viga de acero más gruesa en la posición de la viga. Usando válvula reguladora de la carga de ensayo, suavemente suba la fuerza aplicada hasta $980 \pm 50$ [mN].  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E104 | Procedimiento   | Chequeo de la carga de contacto y de la carga de prueba | -                    | No especifica.   | 13.3.2  | Cambiar la carga de prueba a la carga de contacto y se ajusta la fuerza en la viga a $35 \pm 10$ [mN]. Cambiar la carga de prueba y la de contacto cuatro veces   | 12.2.2 | Cambiar la carga de prueba a la carga de contacto y se ajusta la fuerza en la viga a $35 \pm 10$ [mN]. Cambiar la carga de prueba y la de contacto cuatro veces  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E105 | Procedimiento   | Chequeo de la carga de contacto y de la carga de prueba | -                    | No especifica.   | 13.3.3  | Cuando se esté cambiando entre la carga de prueba y la carga de contacto, se debe mirar el eje y la plataforma de carga para ver el movimiento vertical. El eje de carga deberá mantener el contacto con la viga de acero cuando se esté cambiando entre las carga de contacto y la carga de prueba, mientras mantiene estas cargas a $35 \pm 10$ [mN] y $980 \pm 50$ [mN], respectivamente.  | 12.2.3 | Cuando se esté cambiando entre la carga de prueba y la carga de contacto, se debe mirar el eje y la plataforma de carga para ver el movimiento vertical. El eje de carga deberá mantener el contacto con la viga de acero cuando se esté cambiando entre las carga de contacto y la carga de prueba, mientras mantiene estas cargas a $35 \pm 10$ [mN] y $980 \pm 50$ [mN], respectivamente.   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E106 | Procedimiento   | Chequeo de la carga de contacto y de la carga de prueba | -                    | No especifica.   | 13.3.4  | Acción correctiva: Si los requisitos de las Secciones 13.3.1 a 13.3.3 no se reúnen, los dispositivos pueden requerir calibración según recomendaciones del fabricante o porque el eje de carga puede estar sucio o requiere de alineación (A 1.2). Si los requisitos de las Secciones 13.3.1 a 13.3.3 no pueden ser cumplidos después de la calibración, de la limpieza, o de otra acción correctiva, descartar el uso del dispositivo y consultar al fabricante. | 12.2.4 | Acción correctiva: Si los requisitos de las Secciones 12.2.1 a 12.2.3 no se reúnen, los dispositivos pueden requerir calibración según recomendaciones del fabricante o porque el eje de carga puede estar sucio o requiere de alineación (ver sección 9.1.2). Si los requisitos de las Secciones 12.2.1 a 12.2.3 no pueden ser cumplidos después de la calibración, de la limpieza, o de otra acción correctiva, descartar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.                          | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 2        |
| E107 | Procedimiento   | Aplicación de la carga de contacto                      | 11.4                 | Manualmente aplique una carga de contacto de $35 \pm 10$ [mN] a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga, el vástago de carga, por no más de 10 segundos. | 13.6    | Manualmente aplique una carga de contacto de $35 \pm 10$ [mN] a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga, el vástago de carga, por no más de 10 segundos.  | 12.5   | Manualmente aplique una carga de contacto de $35 \pm 10$ [mN] a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga, el vástago de carga, por no más de 10 segundos. La carga de contacto determinada es requerida para asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, soportes y probeta. La falta de contacto continuo dentro del rango requerido entrega datos engañosos. Mantener la carga de contacto por un tiempo excesivo puede afectar la medición de la rigidez y valor m. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |
|      |                 |   |                      |  | Note 18 | La carga de contacto determinada es requerida para asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, soportes y probeta. La falta de contacto continuo dentro del rango requerido entrega datos engañosos. Mantener la carga de contacto por un tiempo excesivo puede afectar la medición de la rigidez y valor m.   |        |  |             |                    |                |          |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM   | DESCRIPCIÓN  | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |  | AASHTO  |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-------------------|--|----------------------|--|---------|--|---------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                   |  | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM    | D6648-08   | ITEM    | T 313- 12   |             |                    |                |          |
|      |                   |  |                      |  | 13.7    | La carga de contacto será aplicada en la siguiente secuencia: 1) Ajustar los dos reguladores de carga que se describen en 13.3.3; 2) Elevar el vástago manualmente; 3) Colocar la viga de ensayo sobre los soportes, y 4) bajar el vástago manualmente para realizar contacto con la probeta de ensayo. Cuando el contacto se alcanza, la carga indicada debe ser $35 \pm 10$ [mN], si la carga cumple, remueva la probeta y vuelva al punto 13.3.3. Mientras se aplica la carga de contacto, la carga en la probeta no debe ser superior a 45 [mN] y no deberán realizarse ajustes en la carga de contacto mientras la viga esta en los soportes. La carga de ensayo debe ser aplicada dentro de 10 segundos después del primer contacto entre el vástago de carga y la viga. |         |   |             |                    |                |          |
| E108 | Procedimiento     | Aplicación carga de ensayo   | 11.5.c               | Aplicar la carga de ensayo en un rango de $980 \pm 50$ [mN], y mantener la carga constante a $\pm 50$ [mN] por los primeros 5 [s] y a $\pm 10$ [mN] durante el resto del ensaye. | 13.8.3  | El software grabará la carga de ensayo a intervalos de 0,5 segundos, desde los 0,5 [s] a 240 [s] y calculará el promedio de la carga. Entre 0,5 y 5 [s], la carga de ensayo deberá estar dentro de $\pm 50$ [mN] del promedio de la carga de ensayo y para el resto del tiempo $\pm 10$ [mN]. La carga actual sobre la probeta de ensayo medida por la celda de carga será usada para calcular la deformación en la probeta. El patrón de carga está definido en la Fig. 2.  | 12.6.3  | Aplique carga de ensayo como se especifica en la sección 6.1.1.2.                                     | SI          | NO                 | AASHTO         | 4        |
| E109 | Procedimiento     | Validación de los resultados obtenidos   | 11.5.e               | No especifica.   | 13.8.4  | Remueva la carga de ensayo y vuelva a los $35 \pm 10$ [mN] de la carga de contacto.  | 12.6.5  | Si la viga no retorna a $35 \pm 10$ [mN], la prueba no es válida y los reómetros se deben recalibrar. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E110 | Precisión y sesgo | Precisión estimada, mismo operador, coef de variación, rigidez en creep                          | Tabla 8.302.25.A     | 3,2 [MPa]  | Table 1 | 3,2 [MPa]  | Table 1 | 2,5 [MPa]   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E111 | Precisión y sesgo | Precisión estimada, mismo operador, coef de variación, valor m                                   | Tabla 8.302.25.A     | 1,4  | Table 1 | 1,4  | Table 1 | 1   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E112 | Precisión y sesgo | Precisión estimada, multilaboratorio, coef de variación, Rigidez en creep                        | Tabla 8.302.25.A     | 9,5 [MPa]  | Table 1 | 9,5 [MPa]  | Table 1 | 6,3 [MPa]   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E113 | Precisión y sesgo | Precisión estimada, Multilaboratorio, coef de variación, valor m                                 | Tabla 8.302.25.A     | 4,6  | Table 1 | 4,6  | Table 1 | 2,4   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E114 | Precisión y sesgo | Precisión estimada, mismo operador, Rango aceptable del resultado de 2 ensayos, rigidez en creep | Tabla 8.302.25.A     | 9,1 [MPa]  | Table 1 | 9,1 [MPa]  | Table 1 | 7,2 [MPa]   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM         | DESCRIPCIÓN   | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM    |   | AASHTO  |  | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-------------------------|---|----------------------|--|---------|---|---------|--|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                         |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM    | D6648-08  | ITEM    | T 313- 12  |             |                    |                |          |
| E115 | Precisión y sesgo       | Precisión estimada, mismo operador, Rango aceptable del resultado de 2 ensayos, valor m             | Tabla 8.302.25.A     | 4,0  | Table 1 | 4,0   | Table 1 | 2,9  | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E116 | Precisión y sesgo       | Precisión estimada, multilaboratorio, Rango aceptable del resultado de 2 ensayos , Rigidez en creep | Tabla 8.302.25.A     | 26,0 [MPa]   | Table 1 | 26,0 [MPa]  | Table 1 | 17,8 [MPa]   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E117 | Precisión y sesgo       | Precisión estimada, Multilaboratorio, Rango aceptable del resultado de 2 ensayos, valor m           | Tabla 8.302.25.A     | 13,0   | Table 1 | 13,0  | Table 1 | 6,8  | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E118 | Precisión y sesgo       | Base de los análisis  | Nota 13              | Se basan en el análisis de una serie limitada de resultados de pares de pruebas realizadas a cuatro pares de muestras por diversos laboratorios habilitados de AMRL. El análisis incluyó los siguientes grados asfálticos: PG 64-28, PG 52- 34, PG 76-22 y PG 64-22. | 16.1    | El criterio está basado en varias muestras AMRL competentes y Round Robins involucrando más de 300 ensayos y diferentes grados de ligante.  | Note 19 | La precisión dada en la Tabla 1 se basa en el análisis de 8 pares de muestras AMRL competentes. La información analizada proviene de 174 a 196 laboratorios para cada uno de los 8 pares. El análisis incluye 5 grados de ligante PG 52-34, PG 64-16, PG 64- 22, PG 70-22 y PG 76-22 (SBS modificado). El rango promedio de la rigidez en fluencia resulta ser de 125,4 [MPa] a 236.8 [MPa]. El rango promedio de la pendiente para el valor-m va desde 0,308 a 0,374. El detalle de este análisis se encuentra en el reporte NCHRP Project No. 9-26, phase 3.   | SI          | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E119 | Información obligatoria | Calibración del transductor de desplazamiento   | -                    | No especifica.   | A1.1    | Calibrar el transductor de desplazamiento usando un calibrador de bloque escalonado de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la Fig.7. Con el marco de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, quitar todas las vigas de los apoyos y colocar el calibrador de bloque escalonado en la plataforma de referencia debajo del eje de carga según las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Aplicar una masa de 100 [g] en el eje de carga y seguir las instrucciones del fabricante para obtener las lecturas en el transductor de desplazamiento en cada peldaño del calibrador. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a constantes en [µm/bit] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará las nuevas constantes en el software. Estas constantes deben ser reproducibles de una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa. | A1.1    | Calibrar el transductor de desplazamiento usando un calibrador de bloque escalonado de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la Fig.3. Con el marco de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, quitar todas las vigas de los apoyos y colocar el calibrador de bloque escalonado en la plataforma de referencia debajo del eje de carga según las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Aplicar una masa de 100 [g] en el eje de carga y seguir las instrucciones del fabricante para obtener las lecturas en el transductor de desplazamiento en cada peldaño del calibrador. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a constantes en [µm/bit] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará las nuevas constantes en el software. Estas constantes deben ser reproducibles dentro de un 10 % desde una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa. | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM         | DESCRIPCIÓN                                 | MANUAL DE CARRETERAS |                      | ASTM |  | AASHTO |   | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-------------------------|---|----------------------|----------------------|------|--|--------|---|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                         |   | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003) | ITEM | D6648-08   | ITEM   | T 313- 12   |             |                    |                |          |
| E120 | Información obligatoria | Calibración de la celda de carga            | -                    | No especifica.       | A1.2 | La celda de carga se calibra de acuerdo a las instrucciones del fabricante, usando un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a una constante de calibración en términos de [mN/bit] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará la nueva constante al software. Las constantes de la calibración deben ser reproducibles dentro del 10 % de una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa. Repetir el procedimiento para cada temperatura de prueba.  | A1.2   | La celda de carga se calibra de acuerdo a las instrucciones del fabricante, usando un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a una constante de calibración en términos de [mN/bit] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará la nueva constante al software. Las constantes de la calibración deben ser reproducibles dentro del 10 % de una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa. Repetir el procedimiento para cada temperatura de prueba.   | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E121 | Información obligatoria | Calibración del transductor de temperatura  | -                    | No especifica.       | A1.3 | El detector de temperatura se calibra utilizando un termómetro calibrado de rango conveniente que reúna los requisitos de la sección 9.1.5. Se sumerge el termómetro en el baño líquido cerca del detector térmico y compara la temperatura indicada por ambos dispositivos. Si la temperatura indicada por el detector térmico supera la tolerancia de $\pm 0.1$ [°C], se deben seguir las instrucciones del fabricante para corregir la temperatura desplegada y lograr que ambas temperaturas coincidan.  | A1.3   | El detector de temperatura se calibra utilizando un termómetro calibrado de rango conveniente que reúna los requisitos de la sección 10.1.5. Se sumerge el termómetro en el baño líquido cerca del detector térmico y compara la temperatura indicada por ambos dispositivos. Si la temperatura indicada por el detector térmico supera la tolerancia de $\pm 0.1$ [°C], se deben seguir las instrucciones del fabricante para corregir la temperatura desplegada y lograr que ambas temperaturas coincidan.  | SI          | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E122 | Información obligatoria | Determinación de la deformación del sistema | -                    | No especifica.       | A1.4 | Esta determinación se realiza de acuerdo a las instrucciones del fabricante y se usan un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software de adquisición de datos mide la posición del desplazamiento del transductor para cada carga. La deformación se calcula como la deflexión medida por la unidad de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas de deformación en términos de [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ] con tres cifras significativas y automáticamente incorpora la deformación al software. La medida de deformación se puede obtener como parte de la calibración de la celda de carga o como una operación separada. La medición se realiza cada vez que la celda de carga es calibrada. | A1.4   | Esta determinación se realiza de acuerdo a las instrucciones del fabricante y se usa un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software de adquisición de datos mide la posición del desplazamiento del transductor para cada carga. La deformación se calcula como la deflexión medida por la unidad de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas de deformación en términos de [ $\mu\text{m}/\text{N}$ ] con tres cifras significativas y automáticamente incorpora la deformación al software. La medida de deformación se puede obtener como parte de la calibración de la celda de carga o como una operación separada. La medición se realiza cada vez que la celda de carga es calibrada. | SI          | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ITEM             | DESCRIPCIÓN                    | MANUAL DE CARRETERAS |  | ASTM  |   | AASHTO   |   | IMPLICANCIA   | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|--|---|---|--|---|---------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                             |                                | ITEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003)   | ITEM  | D6648-08  | ITEM   | T 313- 12   |               |                    |                |          |
| E123 | Información obligatoria     | Resultado de una prueba típica | A1.1                 | La lámina 8.302.25.A1.A incluye una tabla que muestra el resultado típico de un ensayo mediante viga reométrica de flexión. Desprecie las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 [s] iniciales de la aplicación de la carga de ensayo. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensayo pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y al tiempo de aumento finito. Use sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 [s] después de aplicada la carga de ensayo, para calcular S(t) y "valor-m".  | -   | No especifica.  | A1.5   | La Figura 4 incluye una tabla que muestra el resultado típico de un ensayo mediante el reómetro de viga de flexión. Se deben despreciar las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 segundos iniciales de la aplicación de la carga de ensayo. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensayo pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y un aumento finito de tiempo. Se deben usar sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 [s] después de aplicada la carga de ensayo para calcular S(t) y "valor-m". | SI            | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E124 | Información obligatoria     | Tensión máxima                 | A1.4                 | $\sigma = 3PL / 2bh$   | X1.3  | $\sigma = 3PL / 2bh^2$  | A1.8   | $\sigma = 3PL / 2bh^2$  | SI            | ASTM - AASHTO      | AASHTO         | 3        |
| E125 | Información obligatoria     | Deformación máxima unitaria    | A1.5                 | $\epsilon = 6\delta h / L^2$   | X1.4  | $\epsilon = 6\delta h / L^2$  | A1.9   | $\epsilon = 6\delta h / L$  | SI            | M.C. - ASTM        | AASHTO         | 3        |
| E126 | Presentación de información | Presentación de la información | A1.7.a               | No especifica.   | 14.1  | Las mediciones son en intervalos de tiempo de 0,5 [s] o menos, comenzando con la aplicación de la carga de ensayo.                      | A1.10  | No especifica.  | SI            | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E127 | Presentación de información | Presentación de la información | A1.7.a               | No especifica.   | 14.1  | La deflexión será en [mm] y la carga en [mN].   | A1.10  | No especifica.  | NO            | NO                 | AASHTO         | 2        |
| E128 | Presentación de información | Ajuste de datos                | A1.7.a               | Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suaves que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el "valor-m". Este puede ser realizado promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura $\pm 0,1$ y $\pm 0,2$ [s].   | -   | No especifica.  | A1.11.2  | Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suaves que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el "valor-m". Este puede ser realizado promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura $\pm 0,1$ y $\pm 0,2$ [s].  | SI            | M.C. - AASHTO      | M.C.           | 5        |
| E129 | Informe                     | Entrega de información         | 13.1                 | Temperatura máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 [s] del ensayo, a intervalos de 1,0 [s] y con precisión de 0,1°C.<br>Fecha y hora en que se aplica la carga de ensayo. Nombre del archivo con los datos del ensayo.<br>Nombre del operador.<br>Número de identificación de la muestra.<br>Hora en que la viga se introduce en el baño.<br>Hora de inicio del ensayo.<br>Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensayo.<br>Coeficiente de correlación, R2, para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0,000001.<br>Otros comentarios (máximo 256 caracteres).<br>Informe constantes A, B y C con 3 cifras significativas.<br>Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como: 100 % x (estimada - medida) / medida. | Nombre del archivo N° ID del proyecto<br>Operador<br>Fecha de ensayo<br>Espesor probeta [mm]<br>Largo probeta [mm]<br>Tiempo en baño líquido<br>Hora de aplicación del ensayo<br>Marca y modelo BBRID del equipo<br>Versión del software<br>Temperatura máx. durante el ensayo [°C]<br>Temperatura min. durante el ensayo [°C]<br>Carga máx. durante el ensayo [mN]<br>Carga min. durante el ensayo [mN]<br>Fecha ultima calibración de temperatura<br>Constante de calibración de carga [mN/bit]<br>Fecha ultima calibración celda de carga<br>Constante de calibración de LVDT<br>Módulo de viga metálica [GPa]<br>Conformidad del sistema de carga [ $\mu$ m]<br>Fecha del último chequeo de conformidad | 14  | Temperatura máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 [s] del ensayo, a intervalos de 1,0 [s] y con precisión de 0,1°C.<br>Fecha y hora en que se aplica la carga de ensayo. Nombre del archivo con los datos del ensayo.<br>Nombre del operador.<br>Número de identificación de la muestra.<br>Hora en que la viga se introduce en el baño.<br>Hora de inicio del ensayo.<br>Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensayo.<br>Coeficiente de correlación, R2, para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0,000001.<br>Otros comentarios (máximo 256 caracteres).<br>Informe constantes A, B y C con 3 cifras significativas.<br>Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como: 100 % x (estimada - medida) / medida. | NO  | M.C. - AASHTO | AASHTO             | 3              |          |
| E130 | Presentación de información | Promedio de carga              | -                    | No especifica.   | 14.6  | Calcular el promedio de la carga durante el ensayo, promediando las cargas obtenidas en el rango de 0,5-240[s] en intervalos de 0,5[s]. | -  | No especifica.  | NO            | NO                 | AASHTO         | 3        |

**ANEXO E: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN**

| N°   | NOMBRE DEL ÍTEM             | DESCRIPCIÓN                                    | MANUAL DE CARRETERAS |                      | ASTM |  | AASHTO |                | IMPLICANCIA | IGUALDAD EN NORMAS | ELECCIÓN NORMA | CRITERIO |
|------|-----------------------------|--|----------------------|----------------------|------|--|--------|----------------|-------------|--------------------|----------------|----------|
|      |                             |  | ÍTEM                 | 8.302.25 (DIC. 2003) | ÍTEM | D6648-08   | ÍTEM   | T 313- 12      |             |                    |                |          |
| E131 | Presentación de información | Diferencia máxima de carga                     | -                    | No especifica.       | 14.7 | Para cada periodo de tiempo entre 0,5 y 5[s], calcular la diferencia máxima entre el promedio de carga y las cargas obtenidas en cada intervalo.       | -      | No especifica. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |
| E132 | Presentación de información | Promedio de carga y diferencia máxima de carga | -                    | No especifica.       | 14.8 | Para el periodo entre 5 y 240[s], calcular la diferencia máxima entre la carga promedio y la medición de carga obtenida para cada intervalo de 0,5[s]. | -      | No especifica. | NO          | NO                 | AASHTO         | 3        |

---

# ANEXO F:

## EJEMPLO DE REPORTE DSR

*Información principal:*

| Ítem  | Información grupo 1 | Ítem                                    | Información grupo 2 |
|---|---------------------|---|---------------------|
| Nombre del operador                               | 24 Alfa-numérico    | Fecha de ensayo:                        | __/__/__            |
| N° ID de la muestra                               | 18 Alfa             | Tiempo de ensayo:                       | __:__               |
| N° ID del Proyecto                                | 12 Alfa-numérico    | Fabricante del DSR:                     | 12 Alfa-numérico    |
| Nombre del archivo                                | 12 Alfa-numérico    | Modelo del DSR:                         | 12 Alfa-numérico    |
| Diámetro plato del ensayo, con precisión 0,01[mm] | 00,00               | N° de serie u otra identificación N°ID: | 18 Alfa-numérico    |
| Frecuencia del ensayo, [rad/s]                    | 0,00                | Versión del software                    | 12 Alfa-numérico    |
| Gap de ensayo, 0,01[mm]                           | 00,00               |   |                     |

*Resultados del ensayo por grados (Usar columnas separadas para cada temperatura de ensayo):*

| Mediciones   | Información grupo 3 | Información grupo 4 | Información grupo 5 | Información grupo 6 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Temperatura muestra, 0,1[°C]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Temperatura de corrección a temperatura de ensayo, 0,1[°C]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Amplitud de tensión, [kPa]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Amplitud de deformación %  | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo, $G^*$ , [kPa]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Ángulo de fase, grados   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo / sin (Ángulo de fase)   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo x sin $\delta$ (Ángulo de fase)  | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Comentarios desplegados por el software del DSR (Ej., Este materia pasa)   |                     |                     |                     |                     |
| Al final del archivo, 276 archivos alfanuméricos para comentarios del operador y comentarios, si cualquiera, generado por el software del DSR. |                     |                     |                     |                     |

*Resultados de ensayo para determinar la linealidad:*

| Mediciones   | Información Grupo 7 |                     |                      |                      |                      |                      |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Temperatura muestra, 0,1[°C]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Temperatura de corrección a temperatura de ensayo, 0,1[°C]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Mediciones   | Información Grupo 8 | Información Grupo 9 | Información Grupo 10 | Información Grupo 11 | Información Grupo 12 | Información Grupo 13 |
| Amplitud de tensión, [kPa]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Amplitud de deformación %  |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Módulo complejo, $G^*$ , [kPa]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Ángulo de fase, grados   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Al final del archivo, 276 archivos alfanuméricos para comentarios del operador y comentarios, si cualquiera, generado por el software del DSR. |                     |                     |                      |                      |                      |                      |



# ANEXO G:

## CORRECCIÓN PARA LA LECTURA DEL MANÓMETRO DE ACUERDO A LA ALTURA

**Tabla Anexo G** Corrección para la lectura del manómetro de acuerdo a la altura [15]

| Elevación<br>[m] | Corrección lectura<br>manómetro<br>[mmHg] |      | Corrección<br>lectura<br>manómetro [kPa] |      | Elevación<br>[ft] | Corrección lectura<br>manómetro<br>[mmHg] |      | Corrección<br>lectura<br>manómetro [kPa] |      |
|------------------|---|------|--|------|-------------------|---|------|--|------|
|                  | Mín.                                      | Máx. | Mín.                                     | Máx. |                   | Mín.                                      | Máx. | Mín.                                     | Máx. |
| 0                | 26,3                                      | 24,9 | 83,8                                     | 88,8 | 0                 | 26,3                                      | 24,9 | 83,8                                     | 88,8 |
| 50               | 26,1                                      | 24,7 | 83,2                                     | 88,2 | 200               | 26,1                                      | 24,7 | 83,1                                     | 88,1 |
| 100              | 26,0                                      | 24,6 | 82,6                                     | 87,6 | 400               | 25,9                                      | 24,5 | 82,3                                     | 87,3 |
| 150              | 25,8                                      | 24,4 | 82,0                                     | 87,0 | 600               | 25,7                                      | 24,3 | 81,6                                     | 86,6 |
| 200              | 25,6                                      | 24,2 | 81,4                                     | 86,4 | 800               | 25,5                                      | 24,1 | 80,9                                     | 85,9 |
| 250              | 25,4                                      | 24,0 | 80,8                                     | 85,8 | 1000              | 25,3                                      | 23,9 | 80,2                                     | 85,2 |
| 300              | 25,3                                      | 23,9 | 80,2                                     | 85,2 | 1200              | 25,0                                      | 23,6 | 79,5                                     | 84,5 |
| 350              | 25,1                                      | 23,7 | 79,7                                     | 84,7 | 1400              | 24,8                                      | 23,4 | 78,8                                     | 83,8 |
| 400              | 24,9                                      | 23,5 | 79,1                                     | 84,1 | 1600              | 24,6                                      | 23,2 | 78,1                                     | 83,1 |
| 450              | 24,8                                      | 23,4 | 78,5                                     | 83,5 | 1800              | 24,4                                      | 23,0 | 77,4                                     | 82,4 |
| 500              | 24,6                                      | 23,2 | 77,9                                     | 82,9 | 2000              | 24,2                                      | 22,8 | 76,7                                     | 81,7 |
| 550              | 24,4                                      | 23,0 | 77,4                                     | 82,4 | 2200              | 24,0                                      | 22,6 | 76,0                                     | 81,0 |
| 600              | 24,3                                      | 22,9 | 76,8                                     | 81,8 | 2400              | 23,8                                      | 22,4 | 75,3                                     | 80,3 |
| 650              | 24,1                                      | 22,7 | 76,2                                     | 81,2 | 2600              | 23,6                                      | 22,2 | 74,6                                     | 79,6 |
| 700              | 23,9                                      | 22,5 | 75,7                                     | 80,7 | 2800              | 23,4                                      | 22,0 | 74,0                                     | 79,0 |
| 750              | 23,8                                      | 22,4 | 75,1                                     | 80,1 | 3000              | 23,2                                      | 21,8 | 73,3                                     | 78,3 |
| 800              | 23,6                                      | 22,2 | 74,6                                     | 79,6 | 3200              | 23,0                                      | 21,6 | 72,6                                     | 77,6 |
| 850              | 23,4                                      | 22,0 | 74,0                                     | 79,0 | 3400              | 22,8                                      | 21,4 | 72,0                                     | 77,0 |
| 900              | 23,3                                      | 21,9 | 73,4                                     | 78,4 | 3600              | 22,6                                      | 21,2 | 71,3                                     | 76,3 |
| 950              | 23,1                                      | 21,7 | 72,9                                     | 77,9 | 3800              | 22,4                                      | 21,0 | 70,6                                     | 75,6 |
| 1000             | 22,9                                      | 21,5 | 72,4                                     | 77,4 | 4000              | 22,2                                      | 20,8 | 70,0                                     | 75,0 |
| 1050             | 22,8                                      | 21,4 | 71,8                                     | 76,8 | 4200              | 22,0                                      | 20,6 | 69,3                                     | 74,3 |
| 1100             | 22,6                                      | 21,2 | 71,3                                     | 76,3 | 4400              | 21,9                                      | 20,5 | 68,7                                     | 73,7 |
| 1150             | 22,5                                      | 21,1 | 70,7                                     | 75,7 | 4600              | 21,7                                      | 20,3 | 68,1                                     | 73,1 |
| 1200             | 22,3                                      | 20,9 | 70,2                                     | 75,2 | 4800              | 21,5                                      | 20,1 | 67,4                                     | 72,4 |
| 1250             | 22,1                                      | 20,7 | 69,7                                     | 74,7 | 5000              | 21,3                                      | 19,9 | 66,8                                     | 71,8 |
| 1300             | 22,0                                      | 20,6 | 69,1                                     | 74,1 | 5200              | 21,1                                      | 19,7 | 66,2                                     | 71,2 |
| 1350             | 21,8                                      | 20,4 | 68,6                                     | 73,6 | 5400              | 20,9                                      | 19,5 | 65,5                                     | 70,5 |
| 1400             | 21,7                                      | 20,3 | 68,1                                     | 73,1 | 5600              | 20,7                                      | 19,3 | 64,9                                     | 69,9 |
| 1450             | 21,5                                      | 20,1 | 67,6                                     | 72,6 | 5800              | 20,6                                      | 19,2 | 64,3                                     | 69,3 |
| 1500             | 21,4                                      | 20,0 | 67,0                                     | 72,0 | 6000              | 20,4                                      | 19,0 | 63,7                                     | 68,7 |
| 1550             | 21,2                                      | 19,8 | 66,5                                     | 71,5 | 6200              | 20,2                                      | 18,8 | 63,1                                     | 68,1 |
| 1600             | 21,1                                      | 19,7 | 66,0                                     | 71,0 | 6400              | 20,0                                      | 18,6 | 62,5                                     | 67,5 |
| 1650             | 20,9                                      | 19,5 | 65,5                                     | 70,5 | 6600              | 19,8                                      | 18,4 | 61,9                                     | 66,9 |
| 1700             | 20,8                                      | 19,4 | 65,0                                     | 70,0 | 6800              | 19,7                                      | 18,3 | 61,3                                     | 66,3 |
| 1750             | 20,6                                      | 19,2 | 64,5                                     | 69,5 | 7000              | 19,5                                      | 18,1 | 60,7                                     | 65,7 |

---

# ANEXO H:

## PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA

### 8.302.33 ASFALTOS: MÉTODO DE ENSAYE DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA

#### 1. ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 1.1 Este método se utiliza para medir el efecto del calor y el aire en una película delgada de ligantes asfálticos semisólidos en movimiento junto con obtener residuos para ensayos posteriores. Los efectos de este tratamiento se determinan en base a mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensayo.
- 1.2 ***Los valores deben ser indicados en SI (sistema Internacional), sistema considerado como estándar.***
- 1.3 Este ensayo puede involucrar materiales, equipos y procedimientos peligrosos. Esta norma no aborda todos los problemas de seguridad asociados con su procedimiento. Es de responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad, salud y a su vez determinar las limitaciones de aplicación antes de utilizar.

#### 2. REFERENCIAS

- **Manual de Carreteras:**
  - **8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave.**
- **AASHTO:**
  - **M 231, Weighing Devices Used in the Testing of Materials.**
  - **M 320, Performance-Graded Asphalt Binder.**
  - **R 16, Regulatory Information for Chemicals Used in AASHTO Tests.**
  - **R 18, Establishing and Implementing a Quality Management System for Construction Materials Testing Laboratories.**
- **ASTM:**
  - **C670, Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.**
  - **E1, Standard Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers.**
  - **E220, Standard Test Method for Calibration of Thermocouples By Comparison Techniques.**
  - **E644, Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers.**
- **Documentos NCHRP:**
  - **NCHRP Web-Only Document 71 (Project 09-26), Precision Estimates for AASHTO Test Method T 308 and the Test Methods for Performance-Graded Asphalt Binder in AASHTO Specification M 320.**

### 3. RESUMEN

- 3.1 Una película en movimiento de ligante asfáltico es calentada en un horno durante **85 [min]** a 163 [°C]; el efecto del calor y el aire son determinados a partir de cambios en las mediciones de ensayos físicos antes y después del tratamiento en el horno. El residuo de este ensayo también es utilizado para ensayos adicionales como se requiere en 8.301.8. Se incluye un procedimiento opcional para determinar el cambio de masa.
- 3.2 Los valores de precisión para este método han sido desarrollados para viscosidad a 60 [°C], ductilidad a 15,6 [°C], y cambio de masa.

### 4. RELEVANCIA Y USO

- 4.1 ***Este método simula los cambios aproximados en las propiedades del ligante durante el mezclado a 150 [°C] indicado por la viscosidad y otras medidas reológicas. El residuo de este ensayo también se utiliza para determinar la conformidad del ligante asfáltico según 8.301.8. (asfaltos: Especificaciones Superpave.). Se produce un residuo el cual aproxima las condiciones del asfalto inmediatamente luego de ser construido. Si la temperatura de mezclado difiere notablemente de los 150 [°C], los efectos ocurridos en las propiedades serán mayores o menores. Este método también puede ser utilizado para determinar el cambio de masa del ligante, la cual es una medición de la volatilidad del ligante asfáltico y cambio de masa resultante de la oxidación.***

### 5. APARATOS

- 5.1 **Horno:** Debe ser eléctrico, con doble pared y de convección; las dimensiones laterales serán: alto 381 [mm], ancho 483 [mm] y profundidad (con la puerta cerrada)  $445 \pm 13$  [mm]. La puerta debe contar con una ventana ubicada simétricamente, con dimensiones de **305 a 330 [mm] de ancho por 203 a 229 [mm] de alto**. La ventana debe tener dos láminas de vidrio resistentes al calor y un espacio de aire entre ellas; debe permitir la visión sin obstáculos hacia interior del horno. El elemento calentador se ubica bajo el piso del horno y **debe ser adecuado para mantener la temperatura**. El horno debe contar con respiraderos en el tope y en el fondo. Los del fondo deben estar ubicados simétricamente para suministrar el ingreso del aire alrededor de los elementos de calentamiento. Estos deben poseer una abertura de  **$15 \pm 0,7$  [cm<sup>2</sup>]**. Los respiraderos del tope deben distribuirse simétricamente en la superficie superior del horno y conformar una superficie de  **$9,3 \pm 0,45$  [cm<sup>2</sup>]**.
- 5.2 El horno debe contar con plenum de aire que cubra las paredes y el techo; este espacio debe tener una profundidad de 38 [mm] desde las paredes y el techo. En el punto medio del ancho del horno y a 152 [mm] desde la cara del portador metálico circular, se introducirá el eje de un rotor tipo jaula de abanico de **133,4 [mm]** de diámetro externo por 73 [mm] de ancho, que debe girar a 1725 [rpm], mediante un motor montado en el exterior del horno. El rotor tipo jaula de abanico se instala para que el abanico gire en dirección opuesta a sus veletas. El flujo de aire, característico de un sistema de abanico plano, será succionado desde el fondo del piso del horno a través del plenum de aire, saliendo por el abanico. Las Láminas 8.302.33. A y 8.302.33. B muestran el detalle de este sistema.

- 5.2.1 El horno debe estar equipado con un control termostático capaz de mantener la temperatura en el rango de  $163 \pm 1,0$  [°C]. **La ubicación del sensor termostático debe asegurar que el horno mantendrá la temperatura de control especificada.** El cual debe ser capaz de llevar la carga completa en la parte trasera del horno a la temperatura de ensaye dentro de un período de 10 [min], luego de haber insertado las muestras en el horno precalentado.
- 5.2.2 Un termómetro deberá ser colgado o montado en el techo, a 51 [mm] desde el lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de tal manera que el bulbo del termómetro o la punta del sensor del termómetro alternativo este dentro de 25 [mm] de una línea de nivel imaginaria al eje del portador metálico circular instalado verticalmente.
- 5.2.3 El horno estará equipado con un portador metálico circular de 305 [mm] de diámetro (véase Lámina 8.302.33. B). El portador estará provisto de orificios adecuados y abrazaderas para sostener firmemente ocho contenedores de vidrio en posición horizontal (véase Lámina 8.302.33. C). El portador vertical debe girar mecánicamente a través de un eje de 19 [mm] de diámetro a una velocidad de  $15 \pm 0,2$  [rpm].
- 5.2.4 El horno estará equipado con un inyector para introducir aire caliente a cada contenedor en el punto más bajo de la trayectoria. El inyector tendrá un orificio de salida de 1,02 [mm] de diámetro (taladro N° 60) conectado a una cañería de cobre **para refrigeración** de 7,6 [m] de largo y 7,9 [mm] de diámetro externo. Esta cañería se enrollará para tenderla en el fondo del horno y conectada a una fuente reguladora de aire fresco, seco y libre de polvo, la cual debe quedar expuesta al plenum del horno y no ser cubierta con papel aluminio u otro material.

**Nota 1:** El gel de sílice activa tratado con un indicador de humedad es un desecante satisfactorio para aire seco.

- 5.3 **Medidor del Flujo:** Puede ser de cualquier tipo capaz de medir con exactitud el flujo de aire a una velocidad de  $4.000 \pm 100$  [ml/min]. El medidor de flujo se debe ubicar en dirección al flujo de todos los dispositivos reguladores y dirección opuesta a la cañería de cobre. **Estará ubicado en un lugar que se mantenga aproximadamente a temperatura ambiente. Se calibrará cada 12 meses mediante la prueba de humedad u otro método sustitutivo. La calibración se basará en el flujo de aire que sale por la tubería y será dirigido con el horno apagado y a temperatura ambiente.**
- 5.4 **Termómetro:** Debe ser un termómetro ASTM 13C, como hace referencia en ASTM E1. **Este termómetro se calibrará de acuerdo a las especificaciones descritas en AASHTO R18. Se utilizará para realizar todas las mediciones de temperaturas requeridas por este método.**
- 5.5 **Con el fin de reducir el riesgo asociado a la rotura del termómetro, puede envolverse total o parcialmente en un polímero transparente con paredes de espesor máximo de 0,25 [mm]. Si se utiliza la envoltura se instalará de tal manera que exista contacto mecánico sustancial con el termómetro, luego de la instalación se debe realizar la calibración.**
- 5.5.1 **El termómetro de ensayo puede remplazarse por un sistema de medición electrónico, provisto de los siguientes requerimientos:**
- i.El dispositivo debe ser ubicado en la misma posición que el termómetro**

*reemplazado.*

*ii.El dispositivo de temperatura debe: (1) Tener una escala de error no mayor a la del termómetro removido, y (2) precisión de 0,2[°C].*

*iii.El dispositivo debe ser calibrado a intervalos especificados en AASHTO R18. Guiada de la calibración dada en ASTM E320 o E644.*

- 5.6 Contenedores:** Frascos en los cuales la muestra es ensayada, serán de vidrio resistente al calor y conformes a las dimensiones mostradas en la Lámina 8.302.33. C. *El vidrio puede ser tratado (Ej. esmerilado) en su exterior para fines de manipulación.*
- 5.7 Balanza:** *Si se desea determinar la pérdida por temperatura, se requiere de una balanza clase B conforme a los requisitos de M231. Si sólo se desea el residuo, se puede utilizar una balanza clase G2 conforme con M231. La balanza puede ser estandarizada de acuerdo a los requisitos especificados en AASHTO R18.*
- 5.8 Rejilla de refrigeración:** *Rejilla de metal, construida de acero inoxidable o aluminio que permita enfriar los contenedores en forma horizontal, con cada contenedor en el mismo plano horizontal. La rejilla se construirá de tal forma que el aire fluya libremente alrededor de cada contenedor con al menos 2,5 [cm<sup>2</sup>] de espacio entre ellos y entre el contenedor y cualquier superficie sólida.*
- 5.9 Nivel electrónico (Opcional):** *Nivel de precisión para medir la nivelación de los orificios del portador circular, la longitud será de al menos 125 [mm], y el ancho de 30 ± 3 [mm]. La superficie de apoyo será plana. La resolución de ± 1 grado. El nivel tendrá un botón que congele la medición y permita ser leída luego de mover el nivel del portador.*

**Nota 2:** *Un SPI Tronic Digital level PRO 360 o un equipo equivalente es aceptable para este propósito. El dispositivo puede adquirirse a través de proveedores locales o por correo al fabricante.*

## **6. PREPARACIÓN DEL HORNO**

- 6.1** La posición del orificio de salida del aire es 6,4 [mm] desde la abertura del contenedor de vidrio. El orificio también estará ubicado de tal modo que el surtidor sople horizontalmente dentro del centro de la abertura circular del contenedor **cuando se encuentra en la posición más baja.**
- 6.2** La posición del termómetro especificado en la sección 5.4 de manera que el extremo del bulbo esté dentro de los 25 [mm] **de la línea de nivel imaginaria al centro del eje de la columna soportante del portador circular vertical. Si se utiliza un termómetro alternativo, la posición será la especificada en la sección 5.4 de modo que la punta del sensor este dentro de 25 [mm] y el nivel al centro de la columna soportante del portador circular.**
- 6.3** Nivele el horno para que los ejes de los contenedores queden horizontales cuando se ubiquen en el portador, **se acepta ± 1.0°. Se realizará chequeando el portador circular no el nivel del horno. Un procedimiento recomendado para asegurar que la tolerancia del nivel de los contenedores estén dentro de 1° se entrega en el Anexo A. Se puede utilizar un procedimiento alternativo para asegurar que el nivel del portador sea el correcto. Chequear el desgaste de la columna soportante cada 6 meses y cuando el**

*nivel del portador circular sea revisado.*

**Nota 3:** *La columna soportante del portador circular es propensa al desgaste, un desgaste excesivo provoca la inclinación del portador. Esto afecta la nivelación de los contenedores y es un potencial generador de derrame del ligante desde los contenedores.*

**6.4** *Encienda el ventilador. El ventilador permanecerá encendido mientras que el calentador lo este y la puerta del horno este cerrada. El ventilador debe parar cuando la puerta del horno se abra. El ventilador puede ser detenido manualmente, con un sistema electrónico para trabar la puerta, o a través de otro sistema.*

**6.5** *Precalente el horno por al menos 2 [h] antes de ensayar, con el control de temperatura ajustado a las condiciones que serán utilizados durante el ensayo. Las condiciones deben ser seleccionadas de modo que cuando el horno esté completamente cargado e inyectando aire, se estabilice a  $163,0 \pm 1,0$  [°C], como se indica en el termómetro del ensayo.*

**Nota 4:** *Porque la presencia de los contenedores de la muestra afecta la distribución de la temperatura dentro del horno, los contenedores deben estar en el horno cuando se ajuste el termostato. El uso de los contenedores vacíos es aceptable para este propósito.*

## **7. PROCEDIMIENTO**

**7.1** *La muestra recibida estará libre de agua. Caliéntela en un recipiente con la tapa suelta en un horno que no exceda los 163 [°C], por el tiempo mínimo necesario para asegurar que la muestra está completamente fluida, agite manualmente evitando incorporar burbujas de aire.*

**7.2** *Cuando se determina el cambio de masa, anote la masa de dos contenedores vacíos usando una balanza analítica con precisión de 0,001 [g] o mayor. Vacíe  $35 \pm 0,5$  [g] de muestra en cada uno de los contenedores de vidrio requeridos, suministrando suficiente material para los ensayos que se realizaran con el residuo.*

**7.3** *Inmediatamente después de verter la muestra dentro del frasco, voltear el frasco y dejarlo en posición horizontal sobre una superficie plana y limpia. Rotar el frasco lentamente por al menos una vuelta completa intentando cubrir la superficie curva con la muestra, no es necesario revestir el extremo abierto del contenedor, se deben tomar medidas para prevenir que la muestra se derrame durante este proceso. Asegure que el ligante asfáltico no cubra la parte central del extremo abierto del contenedor. Colocar los contenedores horizontalmente en una rejilla de refrigeración limpia ubicada en una zona sin corriente de aire, a temperatura ambiente, lejos del horno u otras fuentes de calor.*

**Nota 5:** *El revestimiento completo de la superficie cilíndrica de los contenedores puede no obtenerse en asfaltos altamente modificados.*

**Nota 6:** *Para determinar la variación de la masa con mayor precisión, la rejilla de refrigeración debe estar ubicada en un ambiente que posea la misma temperatura y humedad que la de la balanza usada para medir la masa de los contenedores.*

**Nota 7: La estática puede causar inestabilidad en la medición de la masa, debido a las características de los contenedores de vidrio. Este problema puede ser reducido montando una fuente de iones pasivos dentro de un ambiente protegido de corriente.**

- 7.4 Permita que los contenedores se enfríen en la rejilla de refrigeración por al menos 60 [min] pero no más de 180 [min] antes de colocar los contenedores en el horno.**
- 7.5 Cuando se determina el cambio de masa, use dos contenedores separados para este propósito. Luego de enfriar, determine la masa de cada uno utilizando una balanza analítica con resolución de 0,001 [g] o superior. Separadamente coloque cada contenedor verticalmente en la balanza y registre la masa con la resolución de la balanza.**
- 7.6 Con el horno a la temperatura de operación y la inyección de aire a  $4000 \pm 300$  [ml/min], ordenar los contenedores cargados con asfalto en el portador de manera que éste quede balanceado. Llenar los espacios libres del portador con contenedores vacíos. Cerrar la puerta y rotar el portador circular a una velocidad de  $15 \pm 0,2$  [rpm]. Mantenga las muestras en el horno con el aire fluyendo y el portador girando por **85 [min]**. La temperatura de ensaye de  $163 \pm 1,0$  [°C] deberá alcanzarse dentro de los primeros 10 [min], si no es así, suspenda el ensaye.**
- 7.7 Al término del período de ensaye sacar los contenedores que serán utilizados para determinar el cambio de masa, colocarlos horizontalmente en la rejilla de refrigeración. Remover el resto de los contenedores, uno a la vez, y transferir a un contenedor recolector de capacidad de al menos un 30 % más grande que el volumen total del residuo. Esta transferencia debe realizarse primero vertiendo todo el residuo que escurre libremente de cada contenedor, y raspando la mayor cantidad de muestra restante posible. Mientras se está extrayendo el residuo de cada contenedor, la puerta del horno debe permanecer cerrada. Con la temperatura y aire encendido y los muestras restantes girando en el portador. El último contenedor debe ser removido del horno antes de 5 [min] de que ha sido sacado el primero.**

**Nota 8: Cualquier herramienta para raspar o técnica usada es aceptada, siempre y cuando saque más del 90% del residuo de cada contenedor. Se ha determinado que el raspado circunferencial tiende a ser más eficaz que el raspado longitudinal.**

- 7.8 Luego de remover todo el residuo desde los contenedores, revolver suavemente el contenedor recolector para homogeneizar el residuo sin introducir burbujas de aire.**
- 7.9 Si se ha determinado el cambio de masa, permita que el contenedor se enfríe en la rejilla de refrigeración por al menos 60 [min] pero no más de 180 [min]. Una vez enfriado determinar el cambio de masa de esos contenedores, utilizando una balanza analítica con resolución de 0,001 [g] o superior. Separadamente coloque cada contenedor verticalmente en la balanza y registre la masa con la resolución de la balanza.**
- i. Cree una nota en el reporte, si la muestra tiene signos de haber fluido desde el contenedor. Si se ha caído masa desde los contenedores, no utilice**

**estos contenedores para determinar el cambio de masa. El resultado de un solo contenedor puede ser utilizado para determinar el cambio de masa si se ha derramado ligante desde el contenedor. Si se utiliza solo un contenedor para esta determinación, regístrelo en el reporte. Utilizar dos contenedores para propósitos de referencia.**

**Nota 9: Algunos laboratorios han informado problemas con muestras que fluyen desde los contenedores durante la prueba. Si esto ocurre, chequear el nivel de los orificios del portador circular y la dimensión del contenedor. Una solución al problema es utilizar contenedores con un anillo para evitar el derrame. Aquellos contenedores que no cumplan con las dimensiones establecidas se deben eliminar.**

**Nota 10: Para mejorar la precisión del cambio de masa, los contenedores utilizados debieran ser manejados solo con guantes o pinzas limpias. La transferencia a la balanza debería realizarse con pinzas para evitar la contaminación y cambios de temperatura que puedan provocar un error en la medición.**

## **8. REPORTE**

**8.1 Informe los resultados del ensayo de película delgada rotatoria en términos de los cambios físicos generados en el ligante asfáltico por el ensayo. Estos valores se obtienen mediante la medición adecuada de las propiedades del ligante asfáltico antes y después del ciclo en el horno del ensayo de película delgada rotatoria.**

**Nota 11: Resultados de ensayos físicos requeridos por M320 son informados como parte de métodos de ensayos especificados en M320, no como parte de este método.**

**8.2 Una vez determinada, informar el cambio de masa del material medido en los dos recipientes como porcentaje de la masa original con una precisión de 0,001 [%]. La pérdida de masa será informada como negativa y el aumento de esta como positivo.**

**Nota 12: Este ensayo puede resultar con una pérdida o ganancia de masa. Durante el ensayo, componentes volátiles y reacción de productos (principalmente el agua) se evaporan (causando una disminución de la masa), mientras el oxígeno reacciona con la muestra (causando un aumento de masa). El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o pérdida de masa global. Generalmente las muestras con un porcentaje muy bajo de componentes volátiles tendrán una ganancia de masa, mientras que aquellas con un alto porcentaje de componentes volátiles perderán de masa.**

**8.3 Informar la pérdida de ligante asfáltico desde cualquier contenedor utilizado para este propósito. Registrar si el cambio de masa proviene mayoritariamente de un contenedor.**

## **9. PRECISIÓN Y SESGO**

**9.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de la viscosidad a 60 [°C] y ductilidad a 15,6 [°C] de los ensayos al residuo luego de ser calentado son presentados en la TABLA 8.302.33. A.**

**9.2 Los valores dados en la columna 2 corresponden a la desviación estándar que**

ha sido considerada apropiada para el material y condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Los valores entregados por la columna 3 representan los límites que no se deberían exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos llevados a cabo correctamente. Los valores informados en la columna 4 determinar el coeficiente de variación que se ha encontrado apropiado para materiales y condiciones de ensayo descritos en la columna 1. Los valores expresados en la columna 5 muestran el límite que no debe ser excedido por la diferencia del resultado de dos ensayos llevados a cabo correctamente expresados en porcentaje de la media.

**TABLA 8.302.33. A Precisión de los ensayos del residuo.**

| Condición  | Desviación Estándar (1s) <sup>a,b</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>a,b,c</sup> | Coeficiente de Variación (%media)(1S%) | Rango aceptable de 2 resultados (%media)(D2S%) |
|--|---|---|--|--|
| Precisión de un mismo operador:  |   |   |  |  |
| Viscosidad a 60 [°C]   | -                                       | -   | 2,3                                    | 6,5  |
| Ductilidad a 15,6 [°C]   | 3 [cm]                                  | 9 [cm]  | -                                      | -  |
| Precisión Multilaboratorio:  |   |   |  |  |
| Viscosidad a 60 [°C]   | -                                       | -   | 4,2                                    | 11,9   |
| Ductilidad a 15,6 [°C]   | 6 [cm]                                  | 16 [cm]   | -                                      | -  |
| Se basa en el análisis de la información resultante de ensayos de 16 laboratorios a dos tipos de asfaltos en un rango de 13 a 30 [cm]. |   |   |  |  |

**9.3 Precisión para el cambio de masa:** El criterio para juzgar la aceptabilidad del resultado del cambio de masa obtenido por este método es dado en la TABLA 8.302.33. A que será consultada para propósitos de precisión y la TABLA 8.302.33. B que ha sido incluida para conveniencia del operador.

**9.4 Precisión de un mismo operador (repetibilidad):** La ecuación en la columna 2 de la tabla 8.302.33.A indica la desviación estándar de los resultados del ensayo (1s) puede ser expresada como función del cambio de masa (X) para las condiciones de ensayo descritos en la columna 1. Dos resultados obtenidos en un mismo laboratorio, por el mismo operador, utilizando el mismo equipo, en el periodo más corto de ensayo, no será considerado sospechoso a menos que la diferencia de dos resultados exceda el valor determinado, multiplicando 1s estimado descrito en la columna 2 para el promedio de dos resultados por un factor de 2,83. Esto se muestra en la TABLA 8.302.33. A, Columna 3.

**9.5 Precisión Multilaboratorio (reproductibilidad):** La ecuación de la columna 2 de la TABLA 8.302.33. A indica que la desviación estándar de los resultados del ensayo (1s) puede ser expresada como función del cambio de masa (X) para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Dos resultados llevados a cabo por dos operadores diferentes ensayando el mismo material en laboratorios distintos, no deben ser considerados sospechosos a menos que la diferencia entre los dos resultados exceda el valor determinado multiplicando 1s estimado descrito en la columna 2 por el promedio de los resultados de dos ensayos por 2.83. Esto se muestra en la TABLA 8.302.33. A, Columna 3.

**TABLA 8.302.33. B Precisión estimada para el cambio de masa.**

| Condición  | Desviación Estándar (1s) <sup>a,b</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>a,b,c</sup> |
|--|---|---|
| Precisión de un mismo operador:  |   |   |
| Pérdida de masa [%]  | $1s = 0,0061 + 0,0363(X)$               | $d2s = (0,0061 + 0,0363(X_{AVG})) \times (2,83)$                  |
| Precisión Multilaboratorio:  |   |   |
| Pérdida de masa [%]  | $1s = 0,00153 + 0,1365 (X)$             | $d2s = (0,00153 + 0,1365(X_{AVG})) \times (2,83)$                 |
| Los rangos aceptables para 1s y d2s se describen en ASTM C670 y deben ser ingresados en la ecuación como números positivos.<br>El valor representa el promedio de los resultados de dos ensayos. |   |   |

**La precisión dada en la TABLA 8.302.33. A se basa en el análisis de 8 pares de muestras AMRL competentes. La información analizada provee resultados de 166 a 191 laboratorios para cada uno de los 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22 y PG 76-22 (SBS modificado). Las muestras utilizadas en el análisis tienen un rango promedio de pérdida de masa de -0,05 a -0,51 [%]. Las ecuaciones de la precisión estimada son confiables sólo cuando el cambio de masa es negativo. El detalle de este análisis se encuentra en el reporte NCHRP Project No. 9-26, phase 3.**

**TABLA 8.302.33. C Estratificación de la precisión estimada para el cambio de masa.**

| Condición   | Desviación Estándar (1s) <sup>a,b</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>a,b,c</sup> |
|---|---|---|
| Precisión de un mismo operador:   |   |   |
| Pérdida de masa [%]   |   |   |
| 0,0 a 0,1   | 0,0079                                  | 0,0224  |
| 0,1 a 0,2   | 0,0115                                  | 0,0327  |
| 0,2 a 0,3   | 0,0152                                  | 0,0429  |
| 0,3 a 0,4   | 0,0188                                  | 0,0532  |
| 0,4 a 0,5   | 0,0224                                  | 0,0635  |
| Precisión Multilaboratorio:   |   |   |
| Pérdida de masa [%]   |   |   |
| 0,0 a 0,1   | 0,0084                                  | 0,0236  |
| 0,1 a 0,2   | 0,0220                                  | 0,0623  |
| 0,2 a 0,3   | 0,0357                                  | 0,1009  |
| 0,3 a 0,4   | 0,0493                                  | 0,1395  |
| 0,4 a 0,5   | 0,0630                                  | 0,1781  |
| Los valores representados en esta tabla son los límites para 1s y d2s descritos como valores estratificados. Se debe consultar la TABLA 8.302.33. A de esta norma para fines que requieran mayor precisión. |   |   |

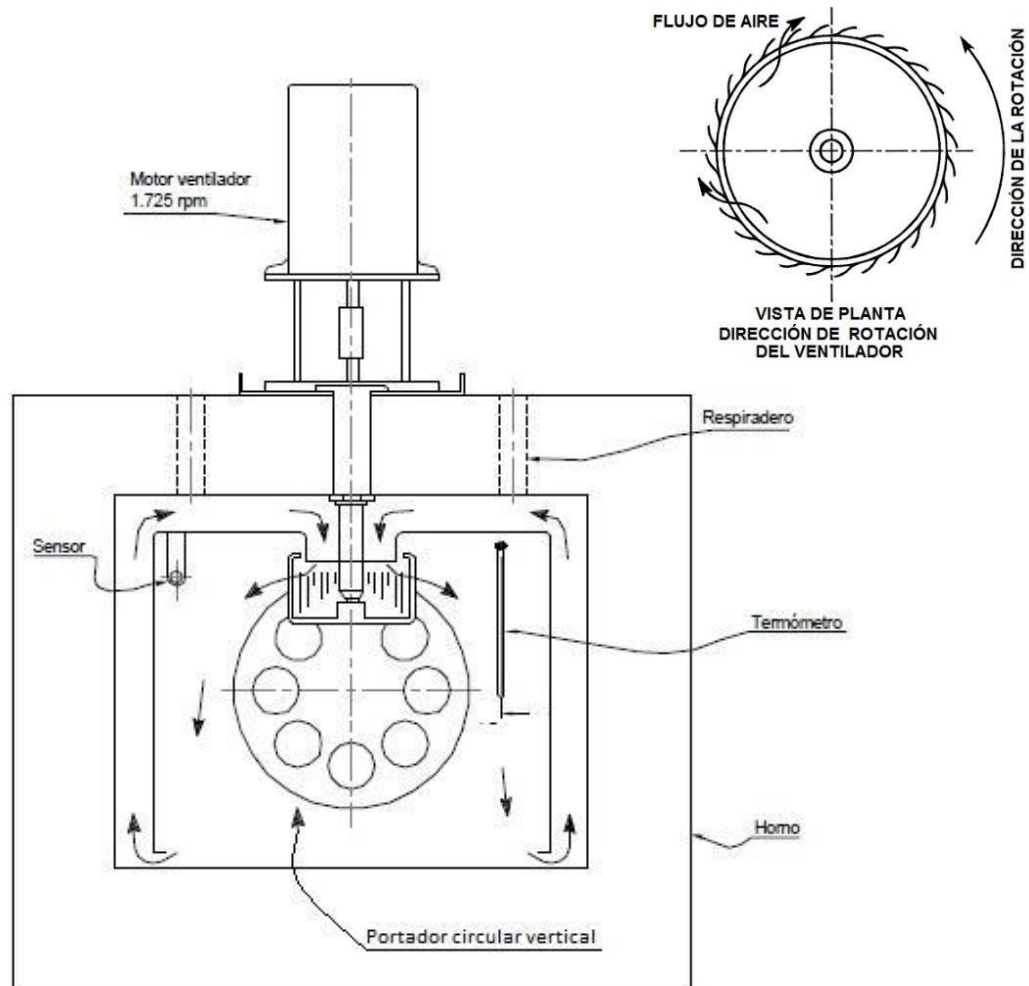
- 9.6** Sesgo. No se puede presentar información del sesgo del procedimiento porque no se dispone de un valor de referencia aceptable para el material.

## ANEXO A

### **PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA DETERMINAR LA NIVELACIÓN DE LOS ORIFICIOS DEL CARRO PORTADOR.**

- A.1. Verificar la precisión y sensibilidad del nivel electrónico de acuerdo al método descrito a continuación.**
- A.1.1. Precisión: Colocar un plato de vidrio cuadrado en una plataforma rígida y ubicar el nivel en el centro del plato paralelo a uno de los lados. Si es necesario, fijar la placa de vidrio para que no se balancee cuando se presiona en sus esquinas. Observar la posición de la burbuja y fije uno de los bordes de la placa de vidrio hasta que la burbuja quede centrada entre las marcas. Tome una lectura. Gire el nivel hacia el otro borde y de nuevo observe la posición de la burbuja y registre la lectura. Las lecturas no deben diferir en más de 0,2 grados.**
- A.1.2. Sensibilidad: Con el nivel en el centro del plato de vidrio y paralelo a uno de sus bordes, fijar un extremo del nivel y observar el cambio de posición de la burbuja. La cuña deberá tener un espesor suficiente para aumentar el nivel cada 0,2 grados (0,5 [mm] en 140 [mm]). El aumento de la cuña deberá causar un cambio distintivo y observable de la posición de la burbuja, si no ocurre, el nivel carece de sensibilidad adecuada y será sustituido.**
- A.2. Revisar si el eje que soportante del portador circular se encuentra desgastado. Si hay algún movimiento perceptible del portador al girarlo manualmente en un movimiento ascendente, sustituir el eje soportante antes de continuar.**
- A.3. Girar el carro de manera que una de las aberturas quede 90° en dirección horaria de la vertical (posición de las 3 en punto). Insertar el nivel en la abertura, registre la lectura, retire el nivel. Registrar el ángulo con precisión de 0,1°. Girar el carro 180° en dirección horaria y repita la medición.**
- A.4. Las lecturas para cada posición deben ser  $0,0 \pm 1,0^\circ$ . Fije la parte inferior del horno hasta que se cumplan los requisitos.**
- A.5. Repita el proceso para las otras aberturas. Todas las lecturas deben ser  $0,0 \pm 1,0^\circ$ . Si los requisitos no se pueden cumplir, consulte con el fabricante.**

LÁMINA 8.302.33. A  
MEDIDOR DE FLUJO, VISTA DEL FLUJO DE AIRE



**LÁMINA 8.302.33. B**  
**MEDIDOR DE FLUJO, CARRO CIRCULAR METÁLICO**

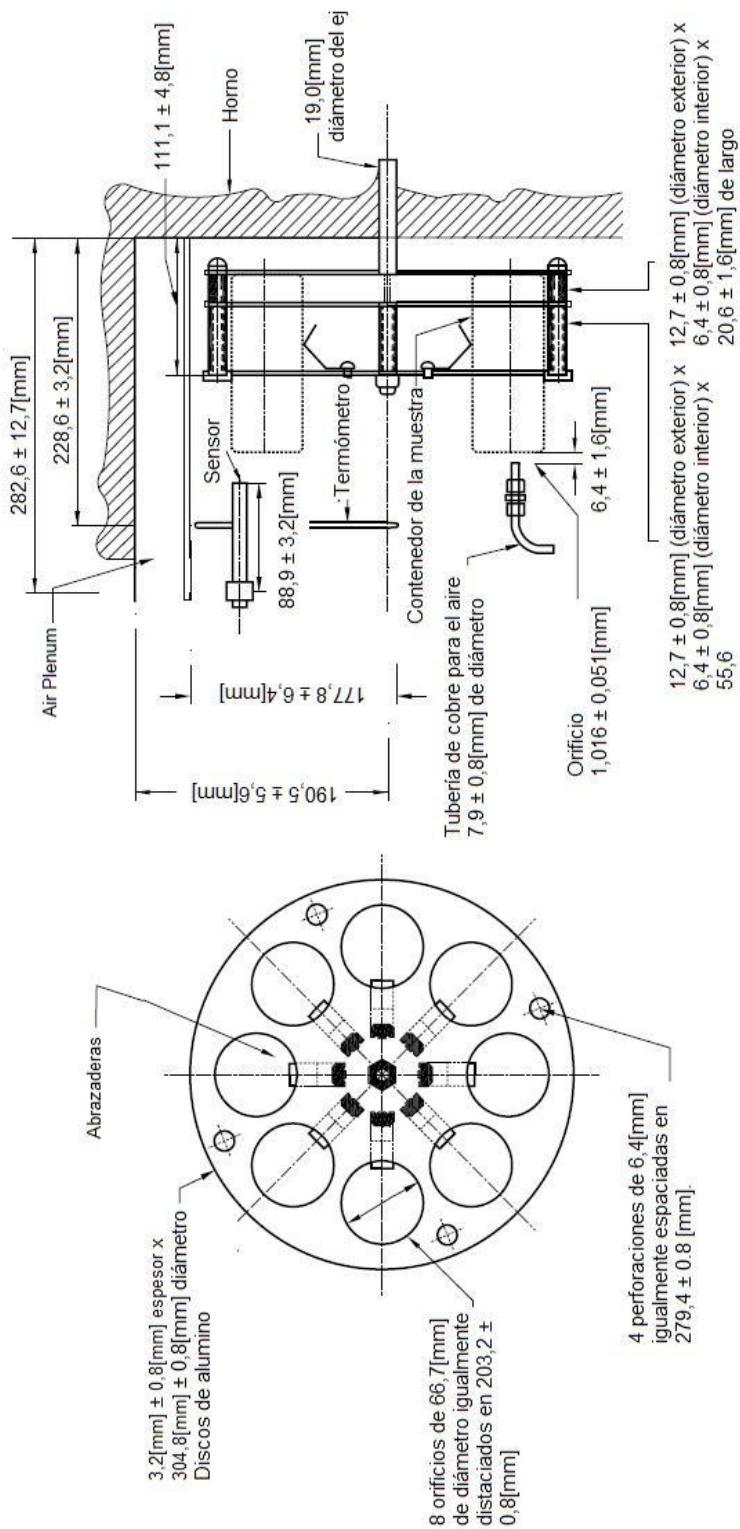
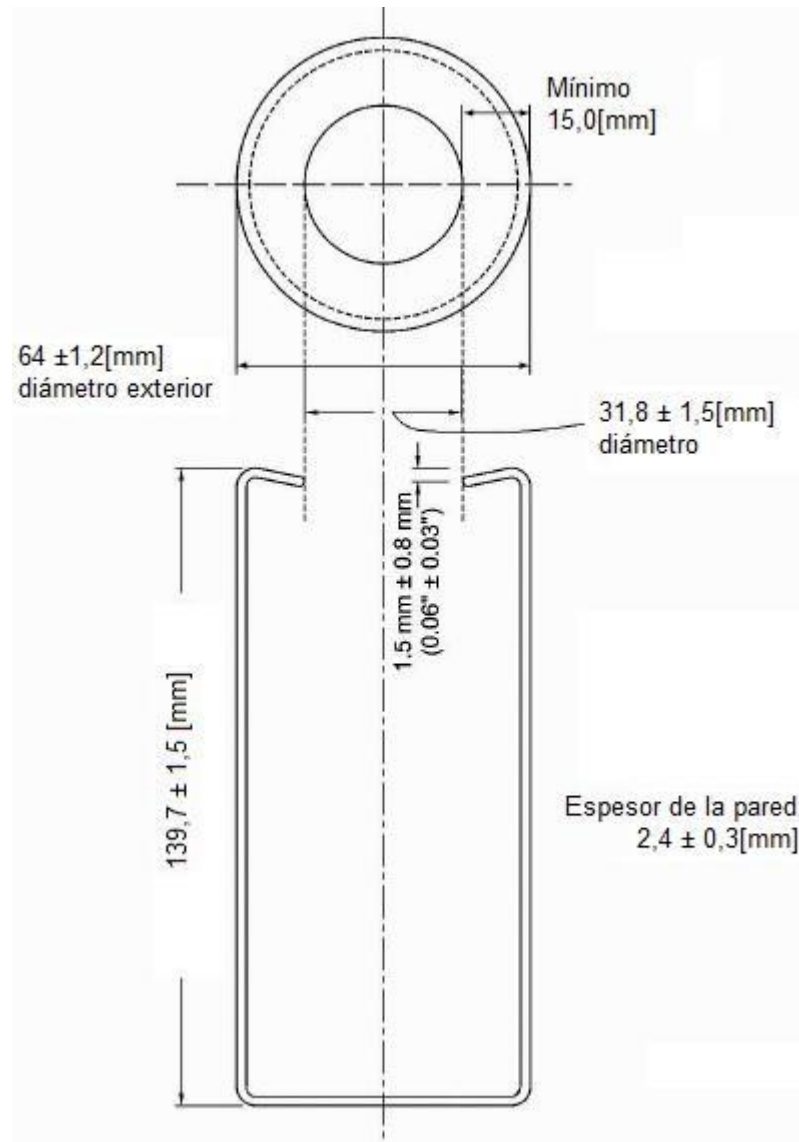


LÁMINA 8.302.33. C  
FRASCO CONTENEDOR



---

# ANEXO I:

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN  
MÉTODO SUPERPAVE DE  
ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE  
LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A  
PRESIÓN

### **8.302.23 ASFALTOS: MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV)**

#### **1 ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN**

- 1.1** Este Método cubre el envejecimiento (oxidación) acelerado de ligantes asfálticos, mediante aire presurizado y temperaturas elevadas. El Método de ensayo pretende simular el envejecimiento por oxidación de ligantes asfálticos en servicio. Está prescrito para residuos provenientes del ensayo de película delgada rotatoria, Método 8.302.33.
- 1.2** Este Método está diseñado para simular el envejecimiento por oxidación, que ocurre en ligantes asfálticos durante la vida de servicio del pavimento. El residuo proveniente de este ensayo puede ser usado para estimar las propiedades físicas o químicas de ligantes asfálticos después de cinco a diez años de envejecimiento en el pavimento.
- 1.3** El ligante asfáltico es envejecido con el Método 8.302.33 Película Delgada Rotatoria, previo al envejecimiento acelerado descrito en este Método. Muestras de ligante asfáltico originales, así como residuos de horno de película delgada rotatoria y el residuo del presente ensayo, se usan para determinar propiedades de desempeño del asfalto, de acuerdo con el Tópico 8.301.8.
- 1.4** El envejecimiento de ligantes asfálticos durante el servicio es afectado por un conjunto de variables asociadas, tales como las proporciones volumétricas de la mezcla, la permeabilidad de la mezcla, propiedades de los agregados y posiblemente otros factores. Este ensayo permite evaluar la resistencia relativa, de distintos ligantes asfálticos, al envejecimiento por oxidación para temperaturas seleccionadas y no considera el conjunto de todas las variables descritas.
- 1.5** Para ligantes asfálticos de diferentes grados o provenientes de distintas fuentes, no existe una correlación única entre el tiempo de envejecimiento y la temperatura utilizados en el ensayo, con la edad y temperatura del pavimento en servicio. Por lo tanto, para un conjunto de condiciones climáticas en servicio, no es posible seleccionar una sola temperatura y tiempo de envejecimiento en la cámara presurizada, que prediga las propiedades de todos los ligantes asfálticos para un conjunto específico de condiciones de exposición en servicio.
- 1.6** El grado de endurecimiento relativo de diferentes ligantes asfálticos varía para diferentes temperaturas de envejecimiento en la cámara presurizada. Por lo tanto, dos ligantes asfálticos pueden envejecer similarmente a una cierta temperatura, pero hacerlo de manera distinta a otra temperatura.
- 1.7** Este método puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. El método no indica todas las medidas de seguridad asociadas con el ensayo. Es responsabilidad del usuario establecer procedimientos y las medidas de seguridad e higiene apropiadas.

## 2 REFERENCIAS

- Manual de carreteras:
  - Tópico 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave para Ligantes Asfálticos
  - Método 8.302.33 Asfaltos: Método de Ensayo de Película Delgada Rotatoria
- AASHTO:
  - AASHTO M231 *Standard Specification for Weighing Devices Used in the Testing of Materials* (especificación para balanzas usadas en ensayo de materiales)
  - AASHTO R 28-12 *Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)*
- ASTM:
  - ASTM E220 *Standard Test Method for Calibration of Thermocouples By Comparison Techniques* (método de calibración de termocuplas por técnicas de comparación)
- DIN:
  - DIN 43760 Estandarización para calibración de termocuplas

## 3 TERMINOLOGÍA

- 3.1 Ligante asfáltico.** Cemento de base asfáltica producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.
- 3.2 En servicio.** Hace referencia al envejecimiento del ligante asfáltico que ocurre en el pavimento, como resultado de los efectos combinados del tiempo, el tránsito y el medio ambiente.

## 4 RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYE

Primeramente, el ligante asfáltico se envejece en un horno de película delgada rotatoria, de acuerdo con el Método 8.302.33. Un espesor especificado de residuo, proveniente del ensayo mencionado, se coloca en bandejas de acero inoxidable (véase el punto 5.2) y se calienta a la temperatura de envejecimiento especificada, durante 20 [h] en una cámara presurizada con aire a 2,10 [MPa]. La temperatura de envejecimiento se selecciona según el grado del ligante asfáltico. Una vez completado el procedimiento, el residuo de ligante asfáltico es desgasificado por medio de vacío.

## 5 MATERIALES Y EQUIPOS

- 5.1 Sistema de ensayo:** Consiste en una cámara de presión, dispositivos controladores de presión, dispositivos controladores de temperatura, dispositivos de medición de presión y temperatura, y un dispositivo de registro de temperatura (véase LÁMINA 8.302.23. A).
- 5.1.1 Cámara de presión:** Una cámara de presión de acero inoxidable, diseñada para operar a  $2,1 \pm 0,1$  [MPa], entre 90 y 110 [°C], con dimensiones interiores adecuadas para alojar una repisa con 10 bandejas estándares de acero

inoxidable. La cámara de presión alojará la repisa con las bandejas en posición horizontal, de modo que el espesor de una delgada capa de ligante ubicada en el fondo de cada bandeja no varíe más de 0,5 [mm] a través de cualquier diámetro del recipiente. El bastidor será diseñado para una fácil inserción y remoción desde la cámara, cuando todos los elementos y el ligante estén a la temperatura de ensayo. En la LÁMINA 8.302.23. B se muestra un esquema de la cámara, el bastidor con las bandejas, y los requerimientos dimensionales específicos.

**Nota 1:** La cámara puede ser una unidad independiente, la cual se instalará en un horno de tiro forzado para el acondicionamiento del ligante asfáltico, o parte integrante del sistema de control de temperatura (por ejemplo, por calentamiento directo de la cámara o por un sistema envolvente con una unidad de calentamiento adjunta, horno de tiro forzado o baño líquido).

### **5.1.2 Dispositivos Controladores de Presión**

- 5.1.2.1** Una válvula de seguridad que evite presiones superiores a 2,2 [MPa] en la cámara durante el proceso de envejecimiento.
- 5.1.2.2** Un regulador de presión, capaz de controlar la presión dentro de la cámara, con una precisión de 1%, y con una capacidad adecuada para reducir la presión proveniente de la fuente de aire comprimido, tal que la presión dentro de la cámara cargada se mantenga en  $2,1 \pm 0,1$  [MPa] durante el ensayo.
- 5.1.2.3** Una válvula de sangrado, de liberación lenta, que reduzca la presión en la cámara, una vez terminado el ensayo, a una velocidad constante, desde 2,1 [MPa] hasta la presión atmosférica local, en un lapso de  $9 \pm 1$  [min].
- 5.1.3** Dispositivos controladores de temperatura, un dispositivo de control de temperatura como los descritos en 5.1.3.1 y 5.1.3.2, para mantener la temperatura durante el proceso de envejecimiento en todos los puntos dentro de la cámara presurizada, con una precisión de 0,5 [°C], y un controlador digital proporcional para mantener la temperatura especificada de control.
- 5.1.3.1** Un horno de tiro forzado o baño líquido (véase Nota 1:) capaz de llevar la cámara cargada despresurizada a la temperatura de envejecimiento deseada 0,5 [°C], en un lapso de no más de 2 [h], de acuerdo al registro del sensor térmico de resistencia (RTD) dentro de la cámara (véase Nota 2:). Mantener la temperatura de envejecimiento 0,5 [°C] en todos los puntos del interior de la cámara. Las dimensiones interiores del horno deben ser lo suficientemente amplias para permitir la libre circulación del aire forzado dentro del él y alrededor de la cámara, cuando ésta se encuentre dentro del horno. El horno tendrá un soporte que resista la cámara cargada en una posición elevada sobre la superficie inferior del horno (además debe mantener el espesor de la película de ligante en las bandejas dentro de la tolerancia especificada).
- 5.1.3.2** Una cámara de presión con un sistema integral de control de temperatura, que sea capaz de llevar la cámara de presión cargada presurizada (véase Nota 1:) a la temperatura de condicionamiento deseada 0,5 [°C] dentro de 2 [h], de acuerdo al registro del RTD dentro de la cámara de presión cargada, y mantener la temperatura en todos los puntos dentro de la cámara a presión a

la temperatura de envejecimiento 0,5 [°C] (véase Nota 2:).

**5.1.4** Dispositivos de Medición de Temperatura y Presión:

**5.1.4.1** Un RTD de platino con precisión de 0,1 [°C] y que satisfaga el estándar DIN 43760 (Clase A) o equivalente, para medir la temperatura dentro de la cámara de presión. EL RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

**Nota 2:** El RTD o detector térmico y su medidor pueden ser calibrados por el fabricante o por el proveedor comercial. La verificación del RTD se puede realizar de acuerdo con ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el detector térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado y coloque el detector térmico y el termómetro en el baño de agua. Fije el detector al termómetro de vidrio con una banda de goma o una liga. Permita que se alcance el equilibrio térmico entre el baño, el detector y el termómetro, y luego registre la temperatura del termómetro de vidrio y la lectura exterior proveniente del detector térmico. La temperatura en el baño no debe cambiar más de 0,1 [°C] por minuto durante el proceso de calibración.

**5.1.4.2** Dispositivo de registro de temperatura, una registradora de cinta u otro tipo de sistema de adquisición de datos capaz de registrar temperaturas durante el ensayo con exactitud de 0,1 [°C]. Como alternativa, se puede usar un dispositivo electrónico capaz de registrar temperaturas máximas y mínimas (precisión 0,1 grados Celsius).

**5.1.4.3** Un manómetro capaz de medir la presión dentro de la cámara con una precisión de 1 % durante el ensayo.

**5.2 Bandejas de Acero Inoxidable:** Diez bandejas cilíndricas de acero inoxidable de 140 milímetros de diámetro interior, 9,5 [mm] de profundidad, con el fondo plano y en lo posible aproximado a 0,635 [mm].

**Nota 3:** Las bandejas tienen tendencia a deformarse o doblarse con el uso. Las bandejas confeccionadas con una hoja N°24 de acero inoxidable cumplen con el espesor recomendado. Las bandejas de hoja N°26 de un metal inoxidable también son aceptables, pero tienen una tendencia mayor a doblarse durante su uso. Sin embargo, en ningún caso los espesores del metal serán menores a 0,4 [mm].

**Nota 4:** *Las bandejas de acero inoxidable más que las de aluminio, son requeridas para el PAV porque proveen un ambiente más seguro para los hidrocarburos expuestos a altas temperaturas y presiones, además no se deforman o doblan fácilmente.*

**5.3 Balanza:** Una balanza conforme a los requerimientos de AASHTO M231, Clase G2.

**5.4 Horno de Vacío:** Un horno de vacío capaz de mantener una temperatura sobre los 180 [°C], con una precisión de 5,0 [°C] y un vacío de 1,0 [kPa] absoluto.

**5.5 Sistema de Vacío:** Un sistema de vacío capaz de generar y mantener presiones bajo 15 [kPa] absolutos. Un sistema de vacío adecuado incluye una bomba de vacío, aspirador de aire o un sistema casero de vacío.

**Nota 5:** *Un manómetro de vacío proporciona la diferencia de presión entre la presión atmosférica ambiental y la presión absoluta dentro del horno de vacío. A nivel del mar, donde la presión atmosférica es igual a 101,3 [kPa] (29,9 [inHg]) y con una presión absoluta dentro del horno igual a 15,0 [kPa] (4,4 [inHg]), el manómetro leerá 86,3 [kPa] (25,5 [inHg]). A una altitud de 1000 [m] (3281 [pies]) donde la presión atmosférica ambiente es 89,7 [kPa] (26,5 [inHg]), la lectura del manómetro será 26,5 [inHg] menos 4,4 [inHg] o 22,1 [inHg]. Una conversión de altitud con corrección de temperatura para la indicación relativa del manómetro es restar 0,85 [inHg] por cada 250 [m] de altitud (restar 0,52 en [Hg] por cada 500 [pies] de altitud).*

**5.6 Materiales:** Aire comprimido comercial o equivalente.

**Nota 6:** *En Norte América, CGA Grade D air comúnmente se refiere a OSHA breathing air. Publicación G-7.1.-1997 define el Grado D como 19,5-23,5% de oxígeno, predominando el nitrógeno dentro del balance. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es limitado a 1000 [ppm] (v/v), el monóxido de carbono se limita a 10 [ppm] y aceite (condensado) a 5 [mg/m<sup>3</sup>].*

## **6 CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN**

**6.1 Detector de Temperatura:** Verifique la calibración del RTD a 0,1 [°C] al menos cada 6 meses, usando un termómetro calibrado. **La verificación del termómetro PAV debe realizarse dentro de los 10 [°C] de la temperatura de envejecimiento.**

**Nota 7:** *Para evitar que se dañen los sensores o accesorios de los termómetros fabricados para el PAV no deben ser removidos para realizar la verificación. Una técnica adecuada de verificación consiste en 1) llevar la sonda del termómetro calibrado al sensor montado dentro del recipiente del PAV y asegurar que estén en contacto, 2) colocar la cubierta sobre la cámara, permitiendo que los conductores del termómetro salgan de la cámara bajo la cubierta sin fijarla, 3) permitir que la cámara alcance el equilibrio térmico de modo que la temperatura sea constante a  $\pm 0,1$  [°C], 4) después de alcanzar el equilibrio, registrar simultáneamente la temperatura de los dos dispositivos termométricos a intervalos de un minuto hasta que la diferencia entre las lecturas difieran a lo más en 0,1 [°C] en tres lecturas consecutivas, y 5) registrar el promedio de tres lecturas para cada dispositivo. El promedio de la diferencia de las lecturas entre los dos dispositivos es el factor de corrección a aplicar cuando se selecciona la temperatura de acondicionamiento. Anotar en la cámara a presión la temperatura de corrección y fecha de determinación. Como alternativamente, si el dispositivo termoeléctrico PAV así lo permite, ajuste la calibración del dispositivo de modo tal que el indicador de temperatura y el termómetro calibrado indiquen la misma temperatura.*

**Nota 8:** *Si el sensor es posicionado horizontalmente, un bloque de metal aproximadamente de 25 x 25 x 25 [mm] perforado en dos caras adyacentes se utilizará para acomodar e instalar los dos sensores térmicos.*

**6.2 Medidor de Presión:** Calíbrelo para una precisión de 1 % al menos cada 6 meses.

**Nota 9:** Usualmente, el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería realizarse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado.

**6.3** Efectúe varias pruebas de determinación de la temperatura óptima para aplicar presión a la cámara. Cargue la cámara con la repisa y las bandejas vacías e incremente la temperatura hasta la temperatura de envejecimiento. Cuando la temperatura dentro de la cámara esté a 10 [°C] de la temperatura de envejecimiento, aplique una presión de aire de  $2,1 \pm 0,1$  [MPa]. Registre el incremento de temperatura producido al aplicar la presión. Repita el procedimiento al menos tres veces y use el promedio del incremento de las temperaturas para establecer la temperatura a la cual se debe aplicar la presión a la cámara para realizar el proceso de envejecimiento.

**6.4 Nivelación. La nivelación de las muestras es importante para los resultados del ensayo.**

**6.4.1 Comprobar la nivelación del bastidor de muestras colocándolo sobre una superficie nivelada y medir en la parte superior del bastidor. Se prefiere un nivel ojo de buey. Sin embargo, se puede utilizar un nivel de precisión pequeño (aproximadamente 150 [mm]), pero la nivelación debe ser verificada en más de un plano (es decir, en ángulo recto).**

**6.4.2 Verificar la nivelación del bastidor instalado en la cámara de presión, ambas deben estar a temperatura de ensayo antes de realizar la verificación. La verificación es similar a la descrita en 6.4.1 excepto que los soportes del PAV deben ser ajustados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para asegurar la nivelación.**

## 7 PROCEDIMIENTO

**7.1** Use los procedimientos estándares de seguridad en el laboratorio para la manipulación del ligante asfáltico caliente cuando prepare las muestras y remueva el residuo desde la cámara de presión. Tenga especial precaución al liberar la presión de la cámara.

**7.2** Envejezca el ligante asfáltico mediante el Método 8.302.33, Asfalto: Método de Ensayo de Película Delgada Rotatoria, y determine el cambio de masa producido.

**7.3** Combine el residuo caliente proveniente del ensayo anterior dentro de un solo recipiente, agite para mezclar y vacíelo en las bandejas de acero inoxidable, o bien, deje que el residuo se enfríe a temperatura ambiente, cubra y reserve hasta realizar el ensayo de envejecimiento acelerado. Si el ligante asfáltico se deja enfriar a temperatura ambiente, se debe calentar nuevamente hasta que esté suficientemente fluido; luego, agite para mezclar y después, vierta a las bandejas. Para remover el asfalto desde los contenedores de envejecimiento de película delgada rotatoria, puede raspar los mismos para asegurar que se obtenga suficiente material para ensayos posteriores.

**7.4** Coloque la repisa dentro de la cámara de presión. Si se va a usar un horno, coloque la cámara dentro del horno. Si se va a utilizar un control integrado de temperatura en la cámara, encienda el calentador. Seleccione la temperatura de envejecimiento y precaliente la cámara de presión a esta temperatura.

**Nota 10:** Para acondicionar el ligante en conformidad con la Especificación 8.301.8, seleccione la temperatura de envejecimiento adecuada desde la Tabla correspondiente de dicha especificación.

**Nota 11:** Se puede precalentar la cámara de presión 10 a 15 [°C] por sobre la temperatura de acondicionamiento, para reducir la caída de temperatura en la cámara durante el proceso de carga de las bandejas, y minimizar el tiempo requerido para estabilizar el sistema una vez cargado y obtener así la temperatura requerida con mayor facilidad.

**Nota 12:** La temperatura de envejecimiento en el PAV o cámara de envejecimiento acelerado se selecciona considerando diferentes regiones climáticas. Temperaturas que excedan aproximadamente 115 [°C] pueden cambiar la estructura química del ligante asfáltico envejecido en ensayos acelerados, y deben evitarse.

**7.5** Coloque las bandejas de acero inoxidable sobre una balanza y agregue  $50 \pm 0,5$  [g] de ligante asfáltico a cada una. Esto producirá una capa de ligante aproximadamente de 3,2 [mm] de espesor.

**Nota 13:** El cambio de masa no se mide como parte de este procedimiento y no es significativo, porque el ligante asfáltico absorbe aire como resultado de la presurización. Cualquier ganancia en masa como resultado de la oxidación se ve enmascarado por la absorción de aire por parte del ligante como resultado de la presurización.

**7.6** Si la cámara es precalentada a una temperatura distinta a la deseada, reajuste el control de temperatura del dispositivo calentador a la temperatura de envejecimiento.

**7.7** Coloque las bandejas con ligante asfáltico en el bastidor (bandejas con ligantes asfálticos provenientes de distintas fuentes o grados pueden ser colocadas en la cámara durante un mismo ensayo). Coloque la repisa con las bandejas llenas dentro de la cámara de presión y ciérrela.

**7.8** Si se usa un horno, coloque la cámara de presión cargada y ciérrela dentro del mismo.

**7.9** Conecte las líneas transductoras de temperatura y presión a las conexiones externas de la cámara.

**7.10** Realice las operaciones descritas en los numerales 7.6 al 7.9 tan pronto como sea posible para evitar el enfriamiento de la cámara y la repisa.

**7.11** Espere hasta que la temperatura dentro de la cámara de presión esté dentro de 20 [°C] debajo de la temperatura de envejecimiento o **de acuerdo a 6.3**, aplique una presión de aire de  $2,1 \pm 0,1$  [MPa] e inicie el registro del tiempo del ensayo. Si la temperatura dentro de la cámara de presión no alcanza la temperatura deseada mediante la aplicación de presión dentro de 2 [h], a contar de la carga del bastidor con las bandejas, interrumpa el procedimiento y descarte las

muestras de asfalto.

**Nota 14:** Presiones que excedan 2,1 [MPa] no incrementan sustancialmente la rapidez de envejecimiento. Por ello, no se justifican presiones mayores que la señalada.

**Nota 15:** Una vez presurizada, la temperatura dentro de la cámara de presión se equilibra rápidamente. El tiempo bajo presión, sin incluir el período de precalentamiento a presión ambiente, corresponde al tiempo de envejecimiento. Dado que el ligante asfáltico ha sido envejecido a 163 [°C] en el ensayo de película delgada rotatoria, el envejecimiento producido a presión ambiente durante el período de precalentamiento es pequeño, y por lo tanto, ese tiempo no se considera.

**7.12** Mantenga la temperatura y presión de aire dentro de la cámara por 20 [h]  $\pm$  10 [min].

**7.13** Al final del período de ensayo de 20 [h], comience a reducir lentamente la presión dentro de la cámara usando la válvula de sangrado o válvula de alivio. Ajuste dicha válvula a una apertura tal que requiera  $9 \pm 1$  [min] para igualar las presiones externas e internas de la cámara, evitando así el excesivo burbujeo y la formación de espuma en el ligante. Durante este proceso puede ser necesario ajustar la configuración de la aguja de la válvula a la caída de presión, para mantener una rapidez de caída de presión aproximadamente lineal. No incluya los tiempos de liberación e igualación de presión, como parte de las 20 [h] del período de envejecimiento.

**7.14** Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura se sitúa sobre o bajo la temperatura de envejecimiento 0,5 [°C] por más de 60 [min] durante el período de 20 [h], el ensayo se declara no válido y deseche el material.

**7.15** Remueva el bastidor con las bandejas desde la cámara y coloque las bandejas en un horno a la **mínima temperatura para un tiempo mínimo hasta que el ligante esté lo suficientemente fluido**. Agite suavemente para ayudar a la remoción de burbujas de aire. Si el ligante es acondicionado en múltiples bandejas, coloque el residuo caliente dentro de un contenedor. Raspe el residuo restante de las bandejas e incorpórelo en un solo recipiente, revuelva suavemente para mezclar el residuo. Si la muestra requiere ser calentada a una temperatura superior a 175 [°C] para facilitar el vertido, anote la temperatura y tiempo de calentamiento en el reporte.

**Nota 16:** Una temperatura de 163 [°C] ha sido considerada adecuada para muchos grados de asfaltos.

**7.16** Precaliente el horno de vacío hasta estabilizarlo a  $170 \pm 5$  [°C]. Remueva las bandejas desde el horno y vierta el residuo caliente desde las bandejas a un solo recipiente. Si los ensayos para determinar las propiedades del residuo no se realizan inmediatamente, se puede dividir el contenido del recipiente en recipientes individuales, cubrir y almacenar a temperatura ambiente para futuros ensayos.

**7.17** Retire las bandejas del horno y vierta el residuo caliente a un solo recipiente. Seleccione un recipiente de dimensiones tales que la profundidad del residuo sea de 15 a 40 [mm]. Después de haber vaciado la última bandeja, transfiera el recipiente al horno de vacío dentro de un 1 [min] y mantenga la temperatura **en**

**170 ± 5 [°C] durante 15 ± 1 [min], sin aplicar vacío.** Después de los 10 [min] de equilibrio, abra la válvula de vacío tan rápidamente como sea posible, para reducir la presión en el horno a 15 ± 2,5 [kPa] absolutos durante 30 ± 1 [min]. Al final de los 30 [min], libere el vacío y retire la repisa. Si hay burbujas visibles en la superficie del residuo, se deben remover aplicando una antorcha o un cuchillo caliente sobre la superficie.

**Nota 17:** Una presión absoluta de 15 ± 2,5 [kPa] es equivalente a una lectura de 25 a 26½ pulgadas de mercurio ([inHg]) en un medidor de vacío estándar.

**7.18 Corrección de la lectura del manómetro: Un medidor de vacío unido al recipiente indica la diferencia entre la presión atmosférica y la presión en el recipiente. Si el recipiente está situado por encima del nivel del mar, la lectura del manómetro debe ser corregida para permitir que se indique la presión absoluta correcta dentro del recipiente. Esta corrección no se utiliza si la cámara está equipada con un manómetro de presión absoluta. No corrija la lectura de la temperatura ni de la presión barométrica comunicada por una estación meteorológica ya que normalmente esta presión ya está corregida.**

**7.18.1 Corrija la lectura del medidor de vacío al nivel del mar usando un factor de corrección de acuerdo a la TABLA 8.302.23. A. Si se utiliza un manómetro absoluto, no se necesita realizar la corrección.**

**7.19 Desde el residuo generado en la sección 7.17, prepare muestras directamente desde el contenedor, vierta el contenido desde el contenedor para subdividir en contenedores pequeños para ensayos futuros, o dejar los contenedores aparte para ensayos futuros.**

**Nota 18:** A nivel del mar, la presión atmosférica estándar es 29,92 [inHg]; 760 [mmHg]; 1,013 [kPa] o 14,7 [psi].

**Nota 19:** Si aparece espuma sobre el ligante asfáltico en el borde del recipiente durante la desgasificación, reduzca la velocidad a la que se libera el vacío hasta que pare la formación de espuma.

**TABLA 8.302.23. A**  
**Corrección de lectura del manómetro de acuerdo a la elevación.**

| Elevación [m] | Corrección lectura manómetro [mmHg] |      | Corrección lectura manómetro [kPa] |      | Elevación [ft] | Corrección lectura manómetro [mmHg] |      | Corrección lectura manómetro [kPa] |      |
|---------------|-------------------------------------|------|------------------------------------|------|----------------|-------------------------------------|------|------------------------------------|------|
|               | Mín.                                | Máx. | Mín.                               | Máx. |                | Mín.                                | Máx. | Mín.                               | Máx. |
| 0             | 26,3                                | 24,9 | 83,8                               | 88,8 | 0              | 26,3                                | 24,9 | 83,8                               | 88,8 |
| 50            | 26,1                                | 24,7 | 83,2                               | 88,2 | 200            | 26,1                                | 24,7 | 83,1                               | 88,1 |
| 100           | 26,0                                | 24,6 | 82,6                               | 87,6 | 400            | 25,9                                | 24,5 | 82,3                               | 87,3 |
| 150           | 25,8                                | 24,4 | 82,0                               | 87,0 | 600            | 25,7                                | 24,3 | 81,6                               | 86,6 |
| 200           | 25,6                                | 24,2 | 81,4                               | 86,4 | 800            | 25,5                                | 24,1 | 80,9                               | 85,9 |
| 250           | 25,4                                | 24,0 | 80,8                               | 85,8 | 1000           | 25,3                                | 23,9 | 80,2                               | 85,2 |
| 300           | 25,3                                | 23,9 | 80,2                               | 85,2 | 1200           | 25,0                                | 23,6 | 79,5                               | 84,5 |
| 350           | 25,1                                | 23,7 | 79,7                               | 84,7 | 1400           | 24,8                                | 23,4 | 78,8                               | 83,8 |
| 400           | 24,9                                | 23,5 | 79,1                               | 84,1 | 1600           | 24,6                                | 23,2 | 78,1                               | 83,1 |
| 450           | 24,8                                | 23,4 | 78,5                               | 83,5 | 1800           | 24,4                                | 23,0 | 77,4                               | 82,4 |
| 500           | 24,6                                | 23,2 | 77,9                               | 82,9 | 2000           | 24,2                                | 22,8 | 76,7                               | 81,7 |
| 550           | 24,4                                | 23,0 | 77,4                               | 82,4 | 2200           | 24,0                                | 22,6 | 76,0                               | 81,0 |
| 600           | 24,3                                | 22,9 | 76,8                               | 81,8 | 2400           | 23,8                                | 22,4 | 75,3                               | 80,3 |
| 650           | 24,1                                | 22,7 | 76,2                               | 81,2 | 2600           | 23,6                                | 22,2 | 74,6                               | 79,6 |
| 700           | 23,9                                | 22,5 | 75,7                               | 80,7 | 2800           | 23,4                                | 22,0 | 74,0                               | 79,0 |
| 750           | 23,8                                | 22,4 | 75,1                               | 80,1 | 3000           | 23,2                                | 21,8 | 73,3                               | 78,3 |
| 800           | 23,6                                | 22,2 | 74,6                               | 79,6 | 3200           | 23,0                                | 21,6 | 72,6                               | 77,6 |
| 850           | 23,4                                | 22,0 | 74,0                               | 79,0 | 3400           | 22,8                                | 21,4 | 72,0                               | 77,0 |
| 900           | 23,3                                | 21,9 | 73,4                               | 78,4 | 3600           | 22,6                                | 21,2 | 71,3                               | 76,3 |
| 950           | 23,1                                | 21,7 | 72,9                               | 77,9 | 3800           | 22,4                                | 21,0 | 70,6                               | 75,6 |
| 1000          | 22,9                                | 21,5 | 72,4                               | 77,4 | 4000           | 22,2                                | 20,8 | 70,0                               | 75,0 |
| 1050          | 22,8                                | 21,4 | 71,8                               | 76,8 | 4200           | 22,0                                | 20,6 | 69,3                               | 74,3 |
| 1100          | 22,6                                | 21,2 | 71,3                               | 76,3 | 4400           | 21,9                                | 20,5 | 68,7                               | 73,7 |
| 1150          | 22,5                                | 21,1 | 70,7                               | 75,7 | 4600           | 21,7                                | 20,3 | 68,1                               | 73,1 |
| 1200          | 22,3                                | 20,9 | 70,2                               | 75,2 | 4800           | 21,5                                | 20,1 | 67,4                               | 72,4 |
| 1250          | 22,1                                | 20,7 | 69,7                               | 74,7 | 5000           | 21,3                                | 19,9 | 66,8                               | 71,8 |
| 1300          | 22,0                                | 20,6 | 69,1                               | 74,1 | 5200           | 21,1                                | 19,7 | 66,2                               | 71,2 |
| 1350          | 21,8                                | 20,4 | 68,6                               | 73,6 | 5400           | 20,9                                | 19,5 | 65,5                               | 70,5 |
| 1400          | 21,7                                | 20,3 | 68,1                               | 73,1 | 5600           | 20,7                                | 19,3 | 64,9                               | 69,9 |
| 1450          | 21,5                                | 20,1 | 67,6                               | 72,6 | 5800           | 20,6                                | 19,2 | 64,3                               | 69,3 |
| 1500          | 21,4                                | 20,0 | 67,0                               | 72,0 | 6000           | 20,4                                | 19,0 | 63,7                               | 68,7 |
| 1550          | 21,2                                | 19,8 | 66,5                               | 71,5 | 6200           | 20,2                                | 18,8 | 63,1                               | 68,1 |
| 1600          | 21,1                                | 19,7 | 66,0                               | 71,0 | 6400           | 20,0                                | 18,6 | 62,5                               | 67,5 |
| 1650          | 20,9                                | 19,5 | 65,5                               | 70,5 | 6600           | 19,8                                | 18,4 | 61,9                               | 66,9 |
| 1700          | 20,8                                | 19,4 | 65,0                               | 70,0 | 6800           | 19,7                                | 18,3 | 61,3                               | 66,3 |
| 1750          | 20,6                                | 19,2 | 64,5                               | 69,5 | 7000           | 19,5                                | 18,1 | 60,7                               | 65,7 |

**Nota 20: Basada en la presión igual a  $15 \pm 2,5$  [kPa] o  $4,7 \pm 0,7$  [Hg]. Cálculos basados en la siguiente ecuación:**

$$pa = po \left\{ 1 - \left[ (1 - (H) \left( \frac{0,0065}{288,16} \right)^{5,2561}) \right] \right\}$$

**Ecuación 9 Presión en altura.**

donde,

**$pa$  = presión a altura,**  
 **$po$  = presión al nivel el mar,**  
 **$H$  = altura en metros..**

Referencia: Manual de Barometry(WBAN), Vol 1, First Edition,U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington, DC, 1963.

## **8 INFORME**

Registre la siguiente información:

- 8.1** Identificación de la muestra
- 8.2** Temperatura de envejecimiento del ensayo, aproximada a 0,5 [°C]
- 8.3** Registro de temperaturas máximas y mínimas, aproximadas a 0,1 [°C]
- 8.4** Tiempo total de envejecimiento durante el que la temperatura estuvo fuera del rango específico, aproximado al minuto
- 8.5** Tiempo total de envejecimiento
- 8.6** Indique la temperatura y el tiempo de calentamiento, si fueron requeridas temperaturas mayores que 163 [°C] en cualquier momento durante la manipulación del material.

## **9 PRECISIÓN**

La investigación requerida para desarrollar estimaciones de precisión para los ensayos en residuos de PAV no se ha efectuado.

LÁMINA 8.302.23. A  
ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA DE ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV)

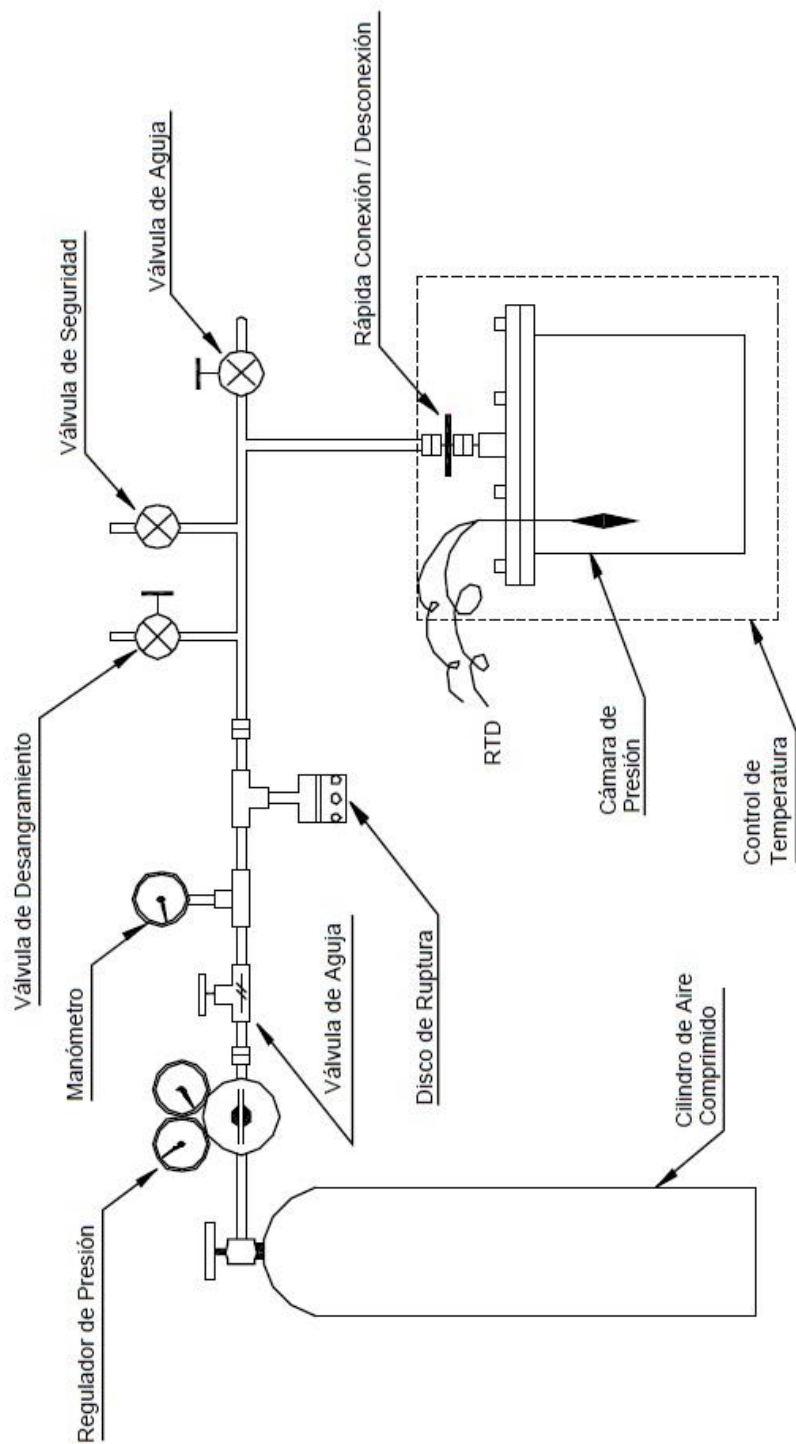
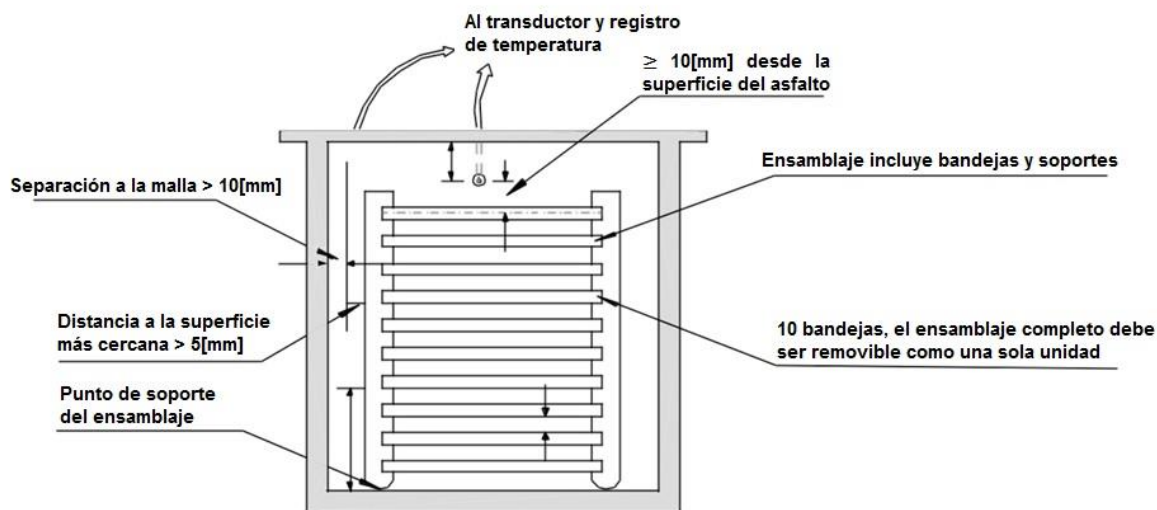


LÁMINA 8.302.23. B  
DIAGRAMA EN EL CUAL SE MUESTRA LA UBICACIÓN DE LAS BANDEJAS Y  
RTD DENTRO DE LA CÁMARA DE PRESIÓN



**Nota 1:** La distancia "a" controla la horizontalidad de las bandejas. El ensamblaje se sostendrá en tres o más puntos. La distancia "a", medida desde cada punto de soporte a la parte inferior de la bandeja (o al soporte de la bandeja), debe ser controlada con una precisión de  $\pm 0,05$  [mm]. Se hará para asegurar que el fondo de la cámara está nivelado, de modo que el espesor de la película de asfalto en cada bandeja, no varíe más de  $\pm 0,05$  milímetros a lo largo de cualquier diámetro.

**Nota 2:** La distancia "b" debe ser tal que cualquier parte activa del transductor de temperatura este a más de 10 [mm] desde la superficie superior de la cámara.

**Nota 3:** La distancia "c" debe ser mayor o igual a 12 [mm].

---

# ANEXO J:

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN  
MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE  
LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS  
MEDIANTE REÓMETRO DE CORTE  
DINÁMICO

## **8.302.22 ASFALTOS: MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO**

### **1 ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN**

- 1.1 Este Método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de ensayo de platos paralelos. Es aplicable a ligantes asfálticos con valores de módulo de corte dinámico de 100 [Pa] a 10 [MPa]. Este rango se obtiene típicamente entre **6 y 88 [°C] a 10 [rad/s]**. Este ensayo está pensado para determinar las propiedades lineales viscoelásticas de ligantes asfálticos, para requerimiento de especificación y no como un procedimiento para comprender la caracterización completa de las propiedades viscoelásticas del ligante.
- 1.2 El ensayo es apropiado para material original o envejecido según Métodos 8.302.33 (HPDR) o 8.302.23. (PAV).
- 1.3 Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como estándar. Otras unidades de medida no son incluidas en este método.
- 1.4 Este Método de ensayo no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones mayores que 250 [µm].
- 1.5 El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. Aquí no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas a su uso, por ende es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer las medidas apropiadas de seguridad e higiene junto con determinar y regular las limitaciones previas al desarrollo del ensayo.

### **2 REFERENCIAS**

- Manual de Carreteras:
  - 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave.
  - 8.302.23 Asfaltos: Método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara de presión.
  - 8.302.1 Asfaltos: Métodos de muestreo.
  - 8.302.33 Asfaltos: Método de ensayo de película delgada rotatoria.
- AASHTO:
  - M320 Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder
  - R29 Practice for Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder
  - T315 Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer
- ASTM:
  - C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
  - D140 Practice for Sampling Bituminous Materials
  - D2170 Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)
  - D2171 Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer
  - D2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of

- Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)
  - D6373 Specification for Performance Graded Asphalt Binder
  - D6521 Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)
  - E1 Especificación para Termómetros ASTM.
  - E77 Test Method for Inspection and Verification of Thermometers
  - E220 Método para Calibración de Termocuplas por Técnicas de Comparación.
  - E563 Practice for Preparation and Use of an Ice-Point Bath as a Reference Temperature
  - E644 Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers
  - E882 Guide for Accountability and Quality Control in the Chemical Analysis Laboratory
- Deutsche Industrie Norm (DIN) Standard:
  - 43760 Standard for Calibration of Thermocouples

### 3 TERMINOLOGÍA

- 3.1 Acondicionamiento del ligante:** *Proceso que consiste en remover los efectos (moleculares) del endurecimiento mediante la aplicación de calor hasta que el ligante esté suficientemente fluido y pueda ser vertido fácilmente.*
- 3.2 Ligante asfáltico:** Cemento asfáltico producido a partir de residuos de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.
- 3.3 Módulo complejo de corte,  $G^*$ :** Razón calculada dividiendo el valor absoluto de la tensión de corte máximo,  $\tau$ , por el valor absoluto de la deformación de corte máxima,  $\gamma$ .
- 3.4 Ángulo de fase:** El ángulo en radianes entre una deformación aplicada sinusoidalmente y la resultante de tensión sinusoidal en un ensayo tipo deformación controlada, o entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un ensayo tipo tensión controlada.
- 3.5 Módulo de pérdida de corte,  $G''$ :** El módulo complejo de corte multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (disipada durante un ciclo de carga).
- 3.6 Probetas de prueba:** *Muestra formada de ligante asfáltico u otro polímero entre los platos del DSR, utilizada para determinar la temperatura del ligante entre los platos. La probeta de prueba es utilizada sólo para determinar la temperatura de corrección.*
- 3.7 Termómetro portátil:** *Se refiere a un aparato electrónico portátil, separado del reómetro de corte dinámico, consiste en un detector (sonda que contiene un termopar o una resistencia) asociado a circuitos electrónicos, con un sistema que permite mostrar la medición.*
- 3.8 Termómetro de referencia:** *Termómetro calibrado por NIST, de mercurio o electrónico usado en los laboratorios comunes.*
- 3.9 Equilibrio térmico:** *Condición alcanzada cuando la temperatura de la*

***probeta entre los platos es contante.***

- 3.10 Módulo de almacenamiento de corte,  $G'$ :** El módulo complejo de corte multiplicado por el coseno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo que es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga.
- 3.11 Geometría de platos paralelos:** Se refiere a la geometría de ensayo, en la cual la muestra de ensayo es colocada entre dos platos paralelos relativamente rígidos y sometidos a un corte oscilatorio.
- 3.12 Corte oscilatorio:** Tipo de carga en la cual una tensión de corte o deformación de corte es aplicada a la muestra de ensayo de forma oscilatoria, de modo que la tensión o deformación de corte varíe en amplitud alrededor de cero de manera sinusoidal.
- 3.13 Viscoelástico lineal:** Dentro del contexto de esta especificación, se refiere a la región de comportamiento en la cual el módulo de corte dinámico es independiente de la tensión o deformación de corte.
- 3.14 Asociación molecular:** Asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. A menudo referida como endurecimiento estérico en la literatura técnica, las asociaciones moleculares pueden incrementar el módulo dinámico de corte de ligantes asfálticos. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse, incluso, después de pocas horas de almacenamiento.
- 3.15 Calibración:** *Proceso que consiste en comprobar la exactitud y precisión de un dispositivo bajo el régimen de calibración NIST junto a la realización de ajustes a los dispositivos donde sea necesario para corregir la operación, precisión y exactitud.*
- 3.16 Ciclo de carga:** *Tiempo en el cual la probeta es cargada a una frecuencia, nivel de deformación o tensión determinada.*
- 3.17 Temperatura de corrección:** *Diferencia de la temperatura de la probeta indicada por el DSR y el termómetro portátil inserto entre los platos.*
- 3.18 Verificación:** *Chequeo de la precisión del dispositivo o sus componentes de acuerdo a las normas internas del laboratorio. Usualmente se realiza mientras el laboratorio se encuentra en operación.*

#### **4 RESUMEN DEL MÉTODO**

- 4.1** El procedimiento se usa para medir el módulo complejo de corte ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ) de ligantes asfálticos, usando un reómetro de corte dinámico y geometría de ensayo de platos paralelos.
- 4.2** El ensayo es aplicable a ligantes asfálticos cuyo módulo dinámico de corte esté comprendido entre 100 [Pa] y 10 [MPa]. Este es el rango típico que se obtiene entre 6 y 88 [°C], dependiendo del grado, temperatura de ensayo y acondicionamiento (envejecimiento) del ligante asfáltico.
- 4.3** Las probetas se ensayan entre los platos metálicos paralelos y sus dimensiones son de 1 [mm] de espesor por 25 [mm] de diámetro, o 2 [mm] de espesor por 8

milímetros de diámetro. Durante el ensayo, uno de los platos paralelos oscila con respecto al otro a frecuencia y amplitudes de deformación rotacional (o amplitudes de torque) preseleccionadas. La amplitud requerida depende del valor del módulo complejo de corte del asfalto ensayado. Las amplitudes requeridas han sido seleccionadas para asegurar que las medidas estén dentro de la región de comportamiento lineal.

- 4.4** La probeta de asfalto se mantiene a la temperatura de ensayo dentro de  $\pm 0,1$  [°C], por calentamiento y enfriamiento de los platos superior e inferior **o encerrando los platos en un ambiente térmicamente controlado o cámara de ensayo.**

Las frecuencias oscilatorias de carga que se usan en este ensayo pueden ir de 1 a 160 [rad/s], usando una forma de onda sinusoidal. La especificación del ensayo está realizada para una frecuencia de ensayo de 10 [rad/s]. El módulo complejo ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\delta$ ), se calculan automáticamente como parte de la operación del reómetro, mediante el software suministrado por el fabricante del equipo.

## **5 SIGNIFICADO Y USO**

- 5.1** La temperatura de ensayo utilizada en este procedimiento está relacionada con la temperatura a que estará sometido el pavimento según el área geográfica donde se instalará el ligante asfáltico.
- 5.2** El módulo complejo de corte es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo complejo de corte y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región lineal viscoelástica.
- 5.3** El módulo complejo y el ángulo de fase se usan para determinar criterios relacionados con el desempeño, de acuerdo con el Método 8.301.8 (Sistema de Graduación PG, ASTM D6373 o AASHTO Standard M320.)

## **6 INTERFERENCIAS**

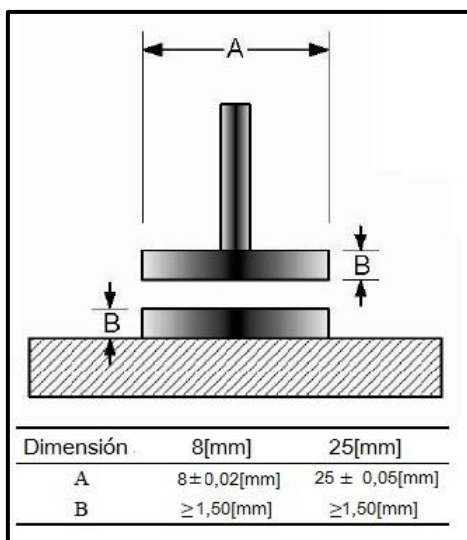
- 6.1** *Solo es permitido material particulado inferior a 250 [ $\mu\text{m}$ ] en el ligante asfáltico, dimensiones superiores a estas son cercanas a la distancia entre los platos ( $\text{Gap}=1000$  [ $\mu\text{m}$ ]). Para una caracterización precisa de las dos fases del material se debe cumplir que el espesor de la muestra sea al menos 4 veces más grande que el material particulado.*
- 6.2** *El cálculo del módulo complejo a partir de la información obtenida por el DSR, depende de la precisión de la medida del diámetro de la muestra, en consecuencia el diámetro de la probeta se asume igual a la de los platos de ensayo. Esta consideración es válida solo si la muestra está cortada correctamente.*
- 6.3** *Las propiedades físicas del ligante asfáltico son sensibles a los ensayos de temperaturas e historial térmico. Con historial térmico se hace alusión al número de veces que la muestra ha sido calentada antes de ser ensayada. Controlar la temperatura de ensayo con precisión de  $\pm 0,1$  [°C] y limitar la cantidad de veces que la muestra es calentada (se recomienda*

*calentarla una sola vez) es esencial para obtener resultados representativos tanto dentro de un mismo laboratorio como con otros.*

## 7 APARATOS

**7.1 Sistema de ensayo - Reómetro de corte dinámico (DSR):** El sistema de ensayo consiste en dos platos metálicos paralelos, una cámara ambiental, un dispositivo de carga y un sistema de control y registro de datos. **El proveedor del DSR deberá certificar que la frecuencia, ángulo de deflexión y torque, sean controlados y medidos, con precisión de 1 % o menos en cada rango de medición.**

**7.1.1 Platos de ensayo:** Platos metálicos de ensayo, de superficies suaves y pulidas. Dos platos de diámetro de  $8,00 \pm 0,02$  [mm] y dos de  $25,00 \pm 0,05$  [mm]. En algunos reómetros, el plato base es un plato plano. Se requiere un relieve **mínimo de 1,5 [mm] de alto**, del mismo diámetro del plato superior. La porción del relieve hace más fácil conformar la probeta y mejorara la repetibilidad del ensayo. **Los platos deben formar parte de los accesorios de ensayo que son utilizados para montar los platos en el DSR como se muestra en la Fig. 1.**



**Fig. 1** Dimensión de los platos.

**Nota 1:** Para obtener información correcta, los platos deben ser concéntricos entre sí, por el momento no hay un método adecuado para chequear la concentricidad, excepto observar que el centro de ambos platos estén alineados. Los platos deben girar sin moverse horizontal ni verticalmente (vaivén), esto puede ser chequeado visualmente o con ayuda de un reloj comparador en contacto con el borde del plato móvil mientras esta rotando. Hay dos valores para determinar el comportamiento del sistema de medición: centricidad (movimiento horizontal) y runout (movimiento vertical). Generalmente el vaivén puede ser determinado si es superior a  $\pm 0,02$  [mm]. Para un sistema nuevo, un vaivén de  $\pm 0,01$  [mm] es normal. Si el movimiento crece más de  $\pm 0,02$  [mm] con el uso, se recomienda realizar una mantención con el proveedor.

**7.1.2 Cámara ambiental:** Una cámara para controlar la temperatura de la probeta de ensayo, mediante calentamiento o enfriamiento (de forma discreta), para mantener la probeta en un ambiente constante. El medio usado para mantener la temperatura constante puede ser agua, gas, nitrógeno líquido o por una disposición adecuada de elementos peltier en estado sólido rodeando la muestra. (Nota 2:), de modo que no afecte las propiedades del ligante asfáltico. La temperatura en la cámara puede ser controlada por la circulación de un fluido o un gas acondicionado (agua o nitrógeno son adecuados) **o por una disposición adecuada de la activación de los controladores de temperatura para calentar los elementos (por ejemplo, elementos peltier en estado sólido) que rodea la muestra.** Cuando se use aire se debe incluir un secador adecuado para prevenir la condensación de la humedad sobre los platos y fijaciones. La cámara ambiental y el controlador deben controlar la temperatura de la probeta, incluyendo gradientes térmicos dentro de la muestra, con una precisión de  $\pm 0,1$  [°C]. La cámara incluirá completamente los platos superior e inferior para minimizar los gradientes térmicos.

**Nota 2:** Si se utiliza un medio fluido, se puede requerir una unidad de baño circulatorio separada del reómetro de corte dinámico, la que bombeará el fluido a través de la cámara. **La velocidad de bombeo del baño no debería ser modificada una vez que la temperatura haya sido ajustada a la deseada. Las líneas del medio deben ser inspeccionadas y limpiadas periódicamente, y remplazadas de ser necesario para evitar obstrucciones.**

**7.1.2.1 Controlador de temperatura:** Un controlador capaz de mantener la temperatura de las probetas dentro de  $0,1$  [°C], para temperaturas de ensayo en el rango de **3 a 88 [°C]**.

**7.1.2.2 Sensor de temperatura:** Un sensor de resistencia térmica (RTD) montado dentro de la cámara ambiental (Nota 3:), en contacto directo con el plato fijo, con un rango de temperatura de 3 a 88 [°C] y con lectura y precisión de  $0,1$  [°C]. Este sensor será usado para controlar la temperatura en la cámara y registrar lecturas continuas de temperatura durante el montaje, acondicionamiento y ensayo de la probeta.

**Nota 3:** Para este propósito se recomiendan sensores RTD de platino de acuerdo a Norma DIN 43760 (Clase A) o equivalente. El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

**7.1.3 Dispositivo de carga:** **Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una precisión de 100 [ $\mu$ rad] alrededor de la deformación especificada. Si la carga se aplica bajo modalidad de tensión controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 [mN·m] alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 [N·m], será menor a 2 [miliradianes/N·m]. El fabricante debe certificar que la frecuencia y tensión, son controladas y medidas con una precisión del 1 % o menor en el rango de esta medición.**

**7.1.4 Sistema de control y registro de datos:** Este sistema proveerá un registro de temperatura, frecuencia, ángulo de deflexión y torque. Los dispositivos usados para medir estas cantidades satisfacen los requerimientos de precisión de la

TABLA 8.302.22 A. Además, el sistema calculará y registrará la tensión de corte, deformación de corte, módulo complejo de corte ( $G^*$ ) y ángulo de fase ( $\delta$ ). El sistema medirá y registrará  $G^*$ , en el rango de 100 [Pa] a 10 [MPa], con una precisión menor o igual a 0,5 %, y el ángulo de fase en el rango de 0 a 90 grados, con una precisión de 0,1 grados.

TABLA 8.302.22 A

*Requerimientos del sistema de control y adquisición de datos*

| Propiedad           | Precisión |
|---------------------|-----------|
| Temperatura         | 0,1 [°C]  |
| Frecuencia          | 1%        |
| Torque              | 10 [mN·m] |
| Ángulo de deflexión | 100[μrad] |

- 7.2 Molde de probeta (Opcional):** Un molde de goma de silicona para formar las probetas de ensayo, con un diámetro aproximadamente igual al diámetro del plato de ensayo superior y altura **mayor que 5 [mm]**. **Si el molde es un solo molde de muestra, las siguientes dimensiones han sido determinadas adecuadas. Para platos de ensayo de 25 [mm] con una separación (gap) de 1 [mm] y cavidad del molde con un fondo cóncavo de diámetro aproximado a los 18 [mm] y una profundidad de al menos 2,0 [mm], para platos de ensayo de 8 [mm] con 2,0 [mm] (gap) un molde de cavidad con la parte inferior cóncava de diámetro aproximado a 8 [mm] y una profundidad de al menos 2,5 [mm].**
- 7.3 Espátula:** Una espátula especial para conformar los bordes de la probeta de asfalto, con un canto recto de al menos 4 [mm] de ancho.
- 7.4 Sensor de temperatura calibrado.** Una termocupla calibrada, RTD, de espesor o diámetro  $\leq 2,0$  [mm], es adecuada para la medición de la temperatura de una probeta o muestra de ligante asfáltico. Las termocuplas y sensores no son confiables al  $\pm 0,1$  [°C] a menos que se calibren de acuerdo al estándar correspondiente al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), siendo calibrados como unidad integral, con sus medidores asociados o circuitos electrónicos. **El termómetro de referencia puede ser usado para este propósito si el detector cabe dentro de la probeta de prueba.**
- 7.5 Termómetro de referencia: Puede ser un termómetro de mercurio certificado por NIST (véase 7.5.1) o Termómetro electrónico digital NIST (véase 7.5.1.1). Esta temperatura estándar será utilizada para estandarizar el termómetro portátil.**
- 7.5.1 Termómetro de mercurio: Certificado por NIST, con un rango entre 0 y 88 [°C] y con subdivisiones de 0,1 [°C]. El termómetro será de inmersión parcial con un punto de hielo. El líquido del termómetro deberá ser verificado por lo menos una vez al año de acuerdo a Test Method E77 y Practice E563.**
- 7.5.1.1 Dispositivo de visión óptico (opcional): Para utilizarlo con el termómetro de mercurio y mejorar la legibilidad, reduce al mínimo el error de lectura del termómetro.**

**7.5.2 Termómetro digital:** *Un termómetro electrónico que incorpora un dispositivo termométrico o detector de resistencia con una precisión de  $\pm 0,05$  [°C] y una resolución de  $\pm 0,01$  [°C]. El termómetro deberá ser calibrado al menos una vez al año por un servicio de calibración comercial usando un patrón de referencia NIST, de acuerdo con Test Method E644.*

**7.6 Termómetro portátil:** Un termómetro portátil calibrado consiste en un dispositivo o detector termométrico o de resistencia, asociado a circuitos electrónicos y lectura digital. El espesor del detector no debe ser mayor de 2,0 [mm] de manera que se pueda insertar entre los platos de ensayo.

## **8 MATERIALES**

**8.1 Material de limpieza:** *Huaipe, toalla de papel, varillas de algodón u otro material adecuado para la limpieza de los platos.*

**8.2 Soluciones de limpieza:** *Solventes para limpiar los platos que no dejen residuos sobre ellos.*

**Nota 4:** *Aceite mineral, solución de base cítrica, alcoholes minerales, tolueno, o algún solvente similar adecuado que permítala limpieza de los platos. Acetona para remover los residuos de la superficie de los platos también es necesario.*

## **9 PRECAUCIONES**

**9.1** Se debe manipular con precaución el ligante asfáltico caliente al preparar las probetas de ensayo.

## **10 PREPARACIÓN DE APARATOS**

**10.1** Preparar los aparatos de ensayo según las recomendaciones del fabricante. Los requerimientos específicos varían para diferentes modelos y fabricantes de reómetros.

**10.2** *Inspeccionar la superficie de los platos de ensayo y descartar cualquier plato con los bordes redondeados, dentados o con orificios profundos. Limpiar cualquier residuo de ligante desde los platos con algún solvente orgánico como aceite mineral, alcoholes minerales, solvente de base cítrica o tolueno. Remover cualquier resto de solvente limpiando la superficie de los platos con varillas de algodón o un paño suave (huaipe) humedecido con solvente orgánico de grado reactivo como el heptano, alcohol etílico o acetona, si es necesario use una varilla de algodón seca o paño suave para asegurar que no se condense la humedad sobre los platos.*

**10.3** *Montar los platos de ensayo sobre las fijaciones de ensayo garantizando visualmente que los platos estén paralelos entre sí y luego ajústelos firmemente.*

**10.4** Seleccionar la temperatura de ensayo según el grado del ligante asfáltico o de acuerdo a la planificación preseleccionada de ensayo (Nota 5:). Espere a que el reómetro alcance una temperatura estable alrededor de  $\pm 0,1$  [°C] de la temperatura de ensayo.

**10.5** Cuando se utilizan varias temperaturas de ensayos el cero de ensayo se fijará en la temperatura media del rango esperado de ensayo. Permita que el DSR estabilice la temperatura dentro de 0,1 [°C] de la temperatura de ensayo. Si la temperatura de ensayo difiere más de  $\pm 12$  [°C] de la temperatura de gap, reestablezca el cero gap. Fijar el cero gap cada vez que una nueva muestra es puesta en los platos.

**Nota 5:** El Método 8.301.8, AASHTO M 320, R29 Y ASTM D6373, son una guía para la selección de las temperaturas de ensayo.

**Nota 6:** Si el instrumento tiene una compensación térmica, el gap debe establecerse con la primera temperatura de ensayo en vez de la mitad del rango de temperatura. Es sumamente importante fijar el cero gap correctamente debido a que errores en la fijación genera errores significativos como se muestra en la Fig. 2 Efectos del error en la distancia inicial.

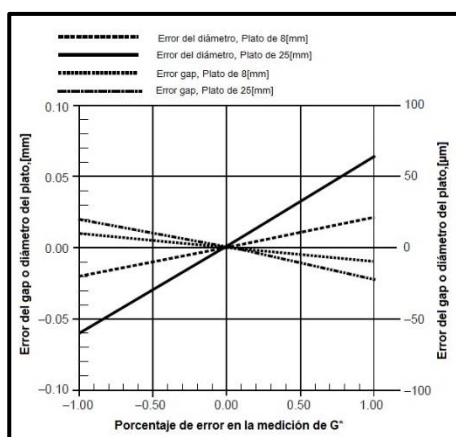


Fig. 2 Efectos del error en la distancia inicial.

**10.6** Con los platos a la temperatura de ensayo, o en el medio del rango de temperatura esperado, establezca el nivel inicial de separación (cero gap) con una las formas siguientes, (1) girando manualmente el plato móvil para reducir la separación hasta que toque al plato fijo (la separación cero se logra cuando el plato deja de girar completamente), (2) para reómetros con transductores de fuerza normal, reduciendo la separación y observado la fuerza normal y, una vez establecido el contacto entre los platos, poner la separación en cero aproximadamente cuando la fuerza normal sea cero, **o (3) con la función automática de acuerdo a los procedimientos especificados por el fabricante.**

**10.7** Separe los platos y establezca la separación a 1,05 [mm] para probetas de 25 [mm] de diámetro o de 2,1 [mm] para las de 8 [mm].

**Nota 7:** En el reómetro de corte, el marco, los sensores y las fijaciones, cambian de dimensión con la temperatura, causando que la separación cero cambie durante la operación del equipo. Los ajustes en la separación no se realizan necesariamente cuando las mediciones son hechas sobre un rango limitado de temperaturas. La separación se ajustará a la temperatura de ensayo o, si los ensayos se efectúan en un rango de temperatura, se utilizará la temperatura media del rango esperado. Para la mayoría de los instrumentos, el ajuste de la separación no es necesario mientras la temperatura de ensayo esté dentro de  $\pm 12$  [°C] de la temperatura a la cual se ajustó

la separación cero.

**10.8 Precalentar platos de ensayo: Una vez establecido el cero gap de acuerdo a los métodos mencionados anteriormente (temperatura establecida), reajustarlo y volver a calentar los platos.**

**10.8.1 Precalentar plato de 25 [mm]: Llevar los platos a temperatura de ensayo o a la menor temperatura si será ensayado a más de una temperatura.**

**10.8.2 Precalentar plato de 8 [mm]: Llevar los platos entre 34 y 46 [°C] para precalentar el plato superior e inferior.**

**Nota 8: En función de obtener una adecuada adhesión entre el ligante y los platos de ensayo, se deberán precalentar los platos. Precalentar es crítico cuando se utiliza molde de silicona para preparar el ligante asfáltico, para ser traspasado a los platos y cuando se utilizan los platos de 8 [mm]. Cuando se utiliza el método de colocación directa, a penas los platos son puestos en contacto con el ligante, el calor que trae el asfalto aumenta la adhesión. La temperatura requerida para proveer adhesión dependerá tanto del grado como la naturaleza del ligante y temperatura de ensayo (platos de 8 y 25 [mm]). Para algunos asfaltos de grados rígidos, especialmente los altamente modificados, calentar los platos a 46 [°C] no será suficiente para asegurar la adhesión adecuada, especialmente si se utiliza molde de silicona y platos de 8 [mm].**

## **11 VERIFICACIÓN**

**11.1 Realice los siguientes procedimientos de calibración y verificar el reómetro de corte dinámico (DSR) y sus componentes cuando el DSR, está recién instalado, se ha movido de lugar, y/o cada vez la precisión del DSR y/o cualquiera de sus componentes sea dudosa. Los cuatro componentes mencionados a continuación requieren ser verificados: diámetro del plato de ensayo, termómetro portátil, torque del transductor del DSR y la temperatura de la muestra de ensayo.**

**Nota 9: Verificar la temperatura del DSR antes que el transductor de torque.**

**11.2 Verificación del diámetro de los platos: Medir el diámetro con precisión de 0,01 milímetros. Mantener el log del diámetro medido como parte del control de calidad del laboratorio, las medidas están claramente identificadas con los platos específicos, ingresar las mediciones actuales al programa para ser utilizadas en el cálculo. Si alguno de los platos difiere en el diámetro, ingrese la medida menor o ambas.**

**Nota 10: Un error de  $\pm 0,05$  [mm] en el diámetro, conlleva a un 8 % de error del módulo complejo obtenido a partir de platos de 25 [mm], al utilizar platos de 8 [mm] errores en el diámetro de  $\pm 0,01$ ,  $\pm 0,02$  y  $\pm 0,05$  [mm] generan un error del módulo de 0,5; 1,0 y 2,5 % respectivamente.**

**11.3 Verificación del termómetro portátil: Verificar el termómetro portátil (usado para medir la temperatura entre los platos) utilizando el termómetro de referencia del laboratorio. Un termómetro portátil se considerara como una combinación de un medidor (aparato de lectura) y un termisor como una sola unidad, por lo que se verificará como tal. Si el termómetro de referencia también es ocupado como termómetro portátil para medir la temperatura entre los platos, revisar los requerimientos de la sección 7.6.**

**11.3.1 Procedimiento de verificación recomendado:** *Instalar el termómetro de referencia en contacto con el detector del termómetro portátil y ubicarlos en un baño de agua agitado controlado térmicamente (0). Asegurar que el agua sea des-ionizada para prevenir la conducción eléctrica entre los electrodos de los elementos sensibles. Si esto no es posible, poner el termómetro de referencia y detector del termómetro portátil dentro de una bolsa impermeable antes de sumergirlo en el baño. Obtener medidas en intervalos de 6 [°C] en el rango del test de temperatura, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico a cada temperatura. Si las lecturas del termómetro portátil y termómetro de referencia difieren en 0,1 [°C] o más, registrar la diferencia de cada temperatura como una temperatura de corrección y mantener un registro de las correcciones.*

**Nota 11:** *Se recomienda utilizar un baño de agua agitado, controlado a  $\pm 0,1$  [°C], tales como el baño de viscosidad utilizado para el método de prueba D2170/D2170M o D2171/ D2171M. Puede utilizarse para baños de baja temperatura, congelados o de temperatura controlada. Llevar la sonda del termómetro portátil en contacto con el termómetro de referencia y manténgalos unidos. Un disco de goma funciona bien para este propósito. Sumergir el conjunto en el baño de agua y llevarlo al equilibrio térmico. Registrar la temperatura de cada dispositivo cuando se alcanza el equilibrio térmico.*

**Nota 12:** *Si las mediciones de dos dispositivos difieren en 0,5 [°C] o más se debe suspender la calibración o medición del termómetro portátil y ser recalibrado o reemplazado. Cambios continuos de la temperatura de corrección también generan sospechas del termómetro.*

**11.4 Temperatura de corrección de la probeta:** *Los gradientes térmicos dentro del reómetro pueden causar diferencias entre la temperatura de la muestra y la temperatura indicada en el termómetro del DSR (también utilizado para controlar la temperatura de DSR). Cuando esas diferencias son 0,1 [°C] o superiores, determinar la temperatura de corrección usando el detector térmico montado en un disco de silicona (véase 0.) o mediante una muestra de ligante asfáltico entre los platos colocando el detector del termómetro portátil dentro del ligante (ver 0).*

**11.4.1 Método utilizando sello de silicona:** *Coloque el disco de silicona entre los platos de 25 [mm] y ajuste la distancia inicial para poner el disco en contacto con ambos platos, de esta forma el disco de silicona estará en contacto completo con ambas superficies. Si es necesario, aplique una capa delgada de grasa de petróleo o compuestos antiadherentes (véase 0) para llenar cualquier espacio vacío entre el disco y los platos. El contacto completo es necesario para asegurar la transferencia de calor apropiada entre los platos y el disco de silicona (véase 0) Determinar cualquier corrección necesaria de la temperatura de acuerdo a la sección 0.*

**Nota 13:** *Componentes antiadherentes, son comercializados con ese nombre en ferreterías y tiendas de auto, son menos propensos a contaminar el agua que la grasa de petróleo.*

**Nota 14:** *El espesor del sello de silicona es de 2 [mm] y diámetro ligeramente más grande a 25 [mm].*

**11.4.2 Método utilizando probeta de prueba:** La probeta de prueba será formada con ligante asfáltico, u otro polímero que fácilmente pueda formarse entre los platos. Colocar la probeta de prueba entre los platos e insertar el termómetro portátil en su interior, junte los platos hasta la distancia de ensayo (1 [mm] para platos de 25 [mm] y 2 [mm] para platos de 8 [mm].), mantenga el detector centrado tanto vertical como radialmente con la probeta de prueba. Calentar los platos cuanto sea necesario permitiendo que la probeta complete la distancia entre los platos (gap de ensayo). No es necesario cortar la muestra pero se debe evitar el exceso en los bordes de los platos. Realizar gráficos de control utilizando la Guía E882. Determinar cualquier corrección de la temperatura necesaria de acuerdo a la sección 0.

**Nota 15:** Silly putty puede dejar residuos en la superficie de los platos, por esta razón no se recomienda su uso como probeta de prueba.

**11.4.3 Determinación de temperatura de corrección:** Obtener mediciones simultaneas de la temperatura con el termómetro del DSR y portátil cada 6 [°C] hasta cubrir la gama de temperaturas de ensayo. En cada incremento de temperatura, después de que se haya alcanzado el equilibrio térmico, registrar la temperatura indicada por ambos termómetros con precisión de 0,1 [°C]. La temperatura de equilibrio se alcanza cuando la temperatura indicada por ambos termómetros no varía en más de 0,1 [°C] durante un período de cinco minutos. Obtener mediciones adicionales para incluir todo el rango de temperatura que será utilizado en la medición del módulo de corte dinámico.

**11.4.4 Gráfico de corrección de temperatura:** Usando los datos obtenidos en 11.4, realizar un gráfico de la diferencia entre las dos mediciones de temperatura versus la temperatura obtenida con el termómetro portátil, (véase

**11.4.5 Fig. 3).** Esta diferencia es la temperatura de corrección debe aplicarse al controlador de temperatura del DSR para obtener la temperatura deseada en la probeta ubicada entre los platos de ensayo. Informar la temperatura de corrección conseguida desde el gráfico para cada temperatura de ensayo correspondiente, y reporte la temperatura de ensayo corregida entre los platos como temperatura de ensayo. Una alternativa, puede ser utilizar un software para anotar las temperaturas de corrección.

**Nota 16:** La diferencia entre las mediciones de temperatura puede que no sea una constante para el reómetro dado, pueden variar con las diferencia entre la temperatura del ensayo y la temperatura ambiente del laboratorio, así como con las fluctuaciones en la temperatura ambiente. La diferencia entre las dos mediciones de temperatura es causada en parte por gradientes térmicos de la probeta y accesorios.

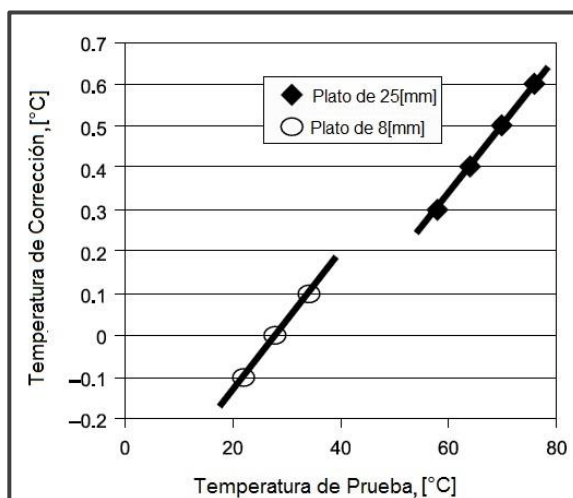


Fig. 3 Determinación de la temperatura de corrección.

**11.5 Verificación del DSR:** Verificar la exactitud del transductor de torque y desplazamiento angular cada vez que el DSR se instala por primera vez (0), se traslade, cada seis meses, la temperatura offset es verificada, y/o cada vez que la exactitud de las mediciones obtenidas sea sospechosa.

**Nota 17:** Cuando se instala por primera vez o reacondiciona el DSR, se verificará semanalmente usando los procedimientos descritos en 0 hasta que se demuestre una verificación aceptable. Se recomienda guardar la información en gráficos de control donde las mediciones verificadas han sido graficadas versus la fecha de realización.

**11.5.1 Verificación del transductor de torque:** Verificar la calibración del transductor de torque con un fluido de referencia o accesorios suministrados por el fabricante cada vez que la calibración del transductor sea sospechosa y/o cuando la viscosidad dinámica medida para el fluido de referencia indique que el transductor de torque no está calibrado.

**11.5.1.1 Verificación del transductor del torque con fluido de referencia:** La viscosidad compleja medida con el DSR será menos de 3 % de la viscosidad capilar según lo informado por el fabricante del fluido de referencia, de lo contrario la calibración del transductor de torque se considera sospechosa. Calcular el viscosidad compleja como el módulo complejo  $[G^*]$  dividido por la frecuencia angular en  $[Rad/s]$ . Recomendaciones para el uso del líquido de referencia se entregan en el Anexo A.

$$\text{Porcentaje de variación} = \left( \frac{\eta^a - \eta^b}{\eta^a} \right) \times 100$$

Donde,

$\eta^a$ : Viscosidad capilar del fluido de referencia,

$\eta^b$ : Medición de la viscosidad calculada por el módulo complejo, dividida por la frecuencia angular.

**Nota 18:** *Un fluido de referencia adecuado está disponible en Canon Instrument Company como viscosidad estándar número N2700000SP. La viscosidad es entregada en [MPa·s]. Convertir las mediciones de viscosidad a [MPa·s] antes de calcular el porcentaje de variación.*

**11.5.1.2 Verificación del transductor de torque y accesorios:** *Verificar la calibración del transductor de torque utilizando accesorios e instrucciones suministradas por el fabricante. Es responsabilidad del fabricante proporcionar adecuadamente los accesorios que no están ampliamente disponibles. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplicará.*

**11.5.2 Verificación del transductor angular de desplazamiento:** *Si los accesorios suministrados por el fabricante están disponibles, verifique la calibración cada seis meses y/o cuando la calibración sea sospechosa. Si los accesorios adecuados no están disponibles, este requisito no se aplica.*

**11.5.3** *Si el DSR no puede ser verificado de acuerdo a 0, no se podrá utilizar para ensayar hasta que sea calibrado por el proveedor o algún servicio técnico calificado.*

## **12 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y PROBETAS DE ENSAYO**

**12.1 Preparación de Muestras de Ensayo:** Si se va a ensayar un ligante original, obtenga las muestras de ensayo de acuerdo con el Método 8.302.1 “Método de Muestreo”.

**12.1.1 Desgasificar antes de ensayar:** *Si el ligante ha sido ensayando de acuerdo a T314 (DT) y acondicionado según AASHTO T240 (HPDR) y AASHTO R28 (PAV), desgasificar el ligante asfáltico como se describe en AASHTO R28 antes de ensayar. De lo contrario, la desgasificación de la muestra no es requerida.*

**12.1.2** Caliente el ligante asfáltico del cual se obtendrá la probeta, calentándolo hasta que esté suficientemente fluido para vaciar las probetas (Nota 19:). Este calentamiento previo elimina las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente. No exceda una temperatura de 163 [°C]. Cubra la muestra y agite ocasionalmente durante el proceso de calentamiento para asegurar la homogeneidad y remover las burbujas de aire. Minimice la temperatura y tiempo de calentamiento, para evitar el endurecimiento de la muestra. ***Los platos no pueden ser utilizados para calentar el ligante.***

**Nota 19:** Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 135 [°C], sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135 [°C].

**Nota 20:** *Para muestras envejecidas en PAV, el ligante asfáltico debe introducirse en un horno de vacío acondicionado a 175 [°C] durante 40 [min]. Debido a la mala transferencia de calor en el horno de vacío, el ligante no se sobrecalienta.*

**12.1.3** Las muestras frías deben ser envejecidas para poder ser ensayadas. Durante el almacenamiento el desarrollo estructural puede sobreestimar el módulo a lo más en un 50 %.

**12.2 Preparación de probetas de ensayo:** Ponga en cero la separación como se describe en Nota 6:. Cuidadosamente limpie y seque las superficies de los platos de ensayo, para que la probeta se adhiera a ambos platos uniforme y fuertemente. Lleve la cámara a **34 – 46 [°C]**, cuando use las probetas de 8 [mm]. Lleve la cámara a la temperatura de ensayo o comienzo del rango (ver Nota 7:) cuando use las probetas de 25 [mm]. Esto es para precalentar los platos y así permitir la adhesión de la probeta a éstos. Prepare una probeta de ensayo usando uno de los métodos especificados a continuación:

**12.3** Transferencia del aglomerante a los platos de ensayo, se puede realizar de tres formas, vertiéndolo (véase 12.3.1), por transferencia directa (véase 12.3.2) o usando un molde de silicona (véase 0).

**Nota 21:** *Se prefieren los métodos de transferencia directa y vertido porque los resultados son menos influenciados por el endurecimiento estérico que con el molde de silicona. De la transferencia directa y vertido se obtienen temperaturas más altas del ligante cuando los platos y el ligante son puestos en contacto, lo que mejora la adherencia. Por esta razón es importante poner en contacto con prontitud los platos con el ligante.*

**12.3.1 Vertido:** *Este método se puede aplicar sólo a reómetros diseñados para remover los platos sin afectar la distancia inicial (gap) establecida.* Remover el plato móvil mientras se sostiene el contenedor de las muestras aproximadamente a 15 [mm] sobre la superficie del plato de ensayo, vierta el asfalto en el centro del plato superior continuamente hasta que cubra el plato entero. Dejar una pequeña porción en los bordes del plato sin cubrir, aproximadamente 2 [mm] de ancho en el perímetro (Nota 22:). Inmediatamente después de verter el ligante asfáltico caliente en el plato, retornar el plato al DSR.

**Nota 22:** Se puede usar un gotario o jeringa, para transferir el asfalto caliente al plato.

**12.3.2 Transferencia directa:** *Transfiera el ligante caliente a uno de los platos usando una varilla de vidrio o metal, espátula o herramienta similar. Inmediatamente después de la transferencia continúe con 0 para cortar la probeta y generar la protuberancia.*

**Nota 23:** *Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 milímetros.*

**12.3.3 Molde de silicona:** *Verter el asfalto caliente dentro de un molde de silicona para formar una píldora con las dimensiones requeridas en la sección 7.2, no cortar la superficie del ligante. Permitir que el molde se enfríe a temperatura ambiente. Tapar el molde, mientras se enfría para evitar que se contamine. La muestra puede ser montada en cualquiera de los platos.*

***Para montarlo en el plato inferior, remover la muestra desde el molde y céntrala en el plato inferior del DSR. Para ser montado en el plato superior, centrarlo en el plato superior mientras este continúa en el molde. Presionar suavemente la muestra contra el plato superior y luego retirar con cuidado el molde dejando la muestra adherida al plato. Completar todos los ensayos dentro de 4 [h] desde que fue vertida la muestra en el molde de silicona.***

***El molde llenado debe ser enfriado a temperatura ambiente colocándolo sobre una mesa con superficie plana sin enfriador. Enfriar a una temperatura inferior a la temperatura ambiente resulta un comportamiento térmico desconocida que puede afectar la medición del módulo y ángulo de fase. Enfriamiento excesivo puede generar humedad en la superficie del ligante que interfiere en la adhesión de la probeta con el plato.***

**Nota 24:** El molde lleno puede ser enfriado en un congelador para facilitar el desmolde de ligantes asfálticos de grados blandos. Enfríe el molde en el congelador sólo el tiempo mínimo necesario para facilitar el desmolde de la probeta.

**Nota 25:** ***Una pequeña y delgada espátula de acero inoxidable del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica se considera adecuada para transferir el ligante caliente. Cuando se utiliza una varilla, tomar una masa de tamaño suficiente para formar la muestra de ensayo mediante el uso de un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener la masa de la varilla en control. El diámetro de varilla adecuado es de 4 a 5 [mm]. La técnica de varilla de vidrio es especialmente útil para la placa de 8 milímetros.***

**Nota 26:** ***Algunos grados de asfaltos no pueden ser removidos desde el molde de silicona sin ser enfriados. Materiales como PG 52-34, PG 46-34, y algunos PG 58-34. Si la muestra no puede ser removida desde el molde sin ser enfriada es recomendable utilizar el método de transferencia directa.***

**12.4 Corte de la muestra de ensayo:** ***Inmediatamente después de que la muestra haya sido retirada de los platos, separe los platos a una distancia determinada (gap) entre ellos que corresponda al gap de ensayo más el gap requerido para crear protuberancia, (véase 0 para este gap). Corte el exceso de asfalto moviendo la herramienta de corte calentada por alrededor del borde de los platos de tal forma que el ligante asfáltico se nivele con el diámetro exterior de los platos.***

**Nota 27:** ***La herramienta de corte debe estar a una temperatura que sea suficientemente elevada para permitir el corte, pero no excesivamente para quemar el borde de la probeta. Tampoco puede estar excesivamente fría para enganchar o dañar los bordes de la probeta.***

**12.5 Creación de la protuberancia:** ***Luego de realizar el corte, disminuir el gap en la cuantía necesaria para formar una ligera protuberancia en la cara exterior de la muestra. La distancia necesaria para crear una protuberancia en el reómetro específico depende de factores tales como, el diseño del reómetro y la diferencia entre temperatura de corte y de ensayo. Una recomendación práctica para verificar la reducción de la distancia requerida para formarla está dada en ANEXO D. Los valores comunes de***

*distancia son 0,05 [mm] para el plato de 25 [mm] y 0,10 [mm] para el plato de 8 [mm].*

**Nota 28:** *El módulo complejo es calculado considerando que el diámetro de la muestra es igual al diámetro del plato. Si el ligante forma una superficie cóncava en los bordes exteriores, esta consideración no es válida y el módulo de corte será subestimado. El cálculo del módulo de corte está basado en el radio del plato elevado a la cuarta potencia. Se recomienda una protuberancia aproximadamente igual a la cuarta parte de la distancia. Un procedimiento para determinar la distancia requerida para formar un gap aceptable se da en el ANEXO D.*

### 13 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

**13.1** Lleve la probeta a la temperatura de ensayo  $\pm 0,1$  [°C]. Véase la Nota 5:.

**Nota 29:** La separación debiera ajustarse al inicio de la temperatura de ensayo (véase 13.1.1) o al medio del rango de temperatura de ensayo esperada (véase 13.1.2). Vea la Nota 7: para guiarse en el ajuste de la separación. Típicamente se obtienen resultados de ensayo confiables con una sola muestra, en un plato de 8 o 25 [mm], usando temperaturas alrededor de 12 [°C] de la temperatura a la cual se ajustó la separación.

**13.1.1** Cuando se ensaya un ligante asfáltico para cumplir las especificaciones 8.301.8 M.C. seleccione la temperatura de la Tabla adecuada de 8.301.8.

**13.1.2** Cuando realice un barrido de temperaturas, inicie el ensayo al medio del rango y aumente o disminuya la temperatura de ensayo hasta cubrir el rango deseado.

**13.2** Ajuste el controlador de temperatura a la deseada de ensayo, incluyendo cualquier compensación requerida como en 0. Permita que la temperatura indicada en el RTD llegue a la temperatura deseada. El ensayo se iniciará sólo después que la lectura ha permanecido a la temperatura deseada  $\pm 0,1$  [°C], por al menos 10 minutos.

**Nota 30:** Es imposible especificar un sólo tiempo de equilibrio que sea válido para los reómetros producidos por distintos fabricantes. El diseño (baño de fluido u horno de aire) del sistema de control ambiental y la temperatura de inicio determinarán el tiempo requerido para alcanzar la temperatura seleccionada. El método para determinar el tiempo correcto de equilibrio térmico se describe en ANEXO E.

**13.3 Modo de control de deformación:** Cuando se opere en un modo de control de deformación, determine el valor de deformación de acuerdo a los valores del módulo complejo. Controle la deformación dentro del 20 % del valor dado por la Ecuación 10.

$$\gamma (\%) = \frac{12,0}{(G^*)^{0,29}}$$

*Ecuación 10. Deformación de corte.*

Donde,

$\gamma$ : Deformación de corte(%).

$G^*$ : Módulo Complejo [kPa].

Cuando se ensayen probetas para verificar el cumplimiento del Método 8.301.8, seleccione el valor de deformación de la pulación por parte del operador.

TABLA 8.302.22 B. El software disponible con el reómetro, controlará la deformación automáticamente, sin la necesidad de manipulación por parte del operador.

TABLA 8.302.22 B  
 Valores de deformación

| Material                                 | kPa               | Deformación |           |
|--|-------------------|-------------|-----------|
|  |                   | Nivel       | Rango     |
| Ligante original                         | 1,0 G*/sen(δ)     | 12          | 9 a 15    |
| Residuo horno rotatorio (RTOFT) 8.302.33 | 2,2 G*/sen(δ)     | 10          | 8 a 12    |
| Residuo PAV 8.302.23                     | 5.000 G*/sen(δ) 1 | 1           | 0,8 a 1,2 |

**13.4 Modo de Control de Tensión:** Cuando opere en modo de control de tensión, determine el nivel de tensión de acuerdo al valor del módulo complejo. Controle la tensión dentro del 20 % del valor calculado por la Ecuación 11.

$$\tau = 0,12 (G^*)^{0,71}$$

*Ecuación 11. Tensión de corte.*

Donde,

$\tau$ : Tensión de corte (kPa)

$G^*$ : Módulo complejo (kPa)

Cuando ensaye probetas para verificar el cumplimiento del Método 8.301.8, seleccione los valores apropiados de tensión de la

TABLA 8.302.22 C. El software disponible con el reómetro, controlará el nivel de tensión automáticamente, sin necesidad de manipulación por parte del operador.

TABLA 8.302.22 C  
 Niveles objetivos de tensión

| Material                                 | kPa               | Deformación |             |
|--|-------------------|-------------|-------------|
|  |                   | Nivel       | Rango       |
| Ligante original                         | 1,0 G*/sen(δ)     | 0,12        | 0,09 a 0,15 |
| Residuo horno rotatorio (RTOFT) 8.302.33 | 2,2 G*/sen(δ)     | 0,22        | 0,18 a 0,26 |
| Residuo PAV 8.302.23                     | 5.000 G*/sen(δ) 1 | 50          | 40 a 60     |

**13.5** Cuando la temperatura se ha equilibrado, acondicione la muestra aplicando la tensión requerida por 10 (8 a 16) ciclos a una frecuencia de 10 [rad/s] (0). Obtenga las mediciones de ensayo registrando datos de 10 ciclos adicionales. Reduzca los datos obtenidos para la segunda serie de 10 (8 a 16) ciclos y así producir un valor del módulo complejo y ángulo de fase. Para reducir los datos se usa típicamente una transformada rápida de Fourier. Obtener las mediciones

promediando la información obtenida en 8 a 16 ciclos de carga usando una técnica analítica y software proporcionado por el fabricante. Se pueden obtener múltiples mediciones para verificar que la muestra está apropiadamente preparada. La separación entre el ligante y los platos, o la fractura en la muestra, pueden provocar disminuciones en los módulos en mediciones repetidas. Algunos ligantes pueden exhibir un módulo reducido con aplicación continua de tensiones de corte (múltiples mediciones). El sistema de registro de datos automáticamente obtiene y reduce los datos cuando está apropiadamente activado. Cuando se realicen ensayos a más de una frecuencia, inicie el ensayo a la frecuencia más baja e incremente hasta la mayor.

**Nota 31:** La frecuencia patrón de 10 [rad/s] se usa cuando se ensayan ligantes según Método 8.301.8.

**13.6** El sistema de adquisición de datos especificado en (7.1.4) automáticamente calcula  $G^*$  y  $\delta$  a partir de la información registrada, cuando está apropiadamente activado.

**13.7** Inicie el ensayo inmediatamente después de preparar y conformar la probeta. El ensayo a temperaturas subsiguientes deberá ser hecho tan rápidamente como sea posible para minimizar el efecto de las asociaciones moleculares (endurecimiento estérico) que pueden causar un incremento en los módulos si la probeta permanece en el reómetro por un período prolongado. Cuando ensayo a múltiples temperaturas todos los ensayos deben ser realizados dentro de 4 [h].

## 14 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

**14.1** El módulo dinámico y el ángulo de fase dependen de la magnitud de la deformación de corte, el módulo y el ángulo de fase para ligantes asfálticos modificados y no modificados disminuye al aumentar la deformación de corte, como muestra la

**14.2** Fig. 4. Un gráfico como el mostrado en la

**14.3** Fig. 4 se puede generar aumentando gradualmente la amplitud de carga o deformación, con lo cual produce un barrido de deformación. No es necesario generar tales barridos durante ensayos normales, sin embargo, tales gráficos son útiles para verificar los límites de la región lineal.

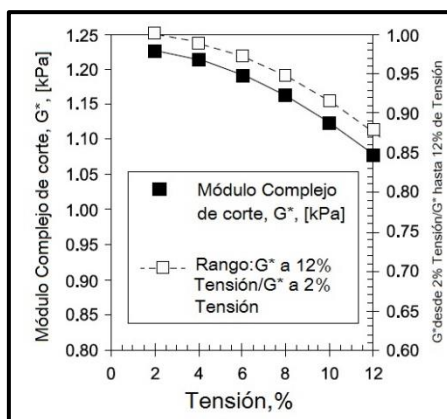


Fig. 4 Ensayo de barrido.

- 14.4** Una región lineal puede ser definida en base a pequeñas deformaciones, donde el módulo es relativamente independiente de la deformación de corte. Esta región variará según la magnitud del módulo complejo. La región lineal es definida como el rango en deformación donde el módulo complejo es 95 % o más del valor para deformación cero.
- 14.5** La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensayo.

## **15 INFORME**

- 15.1** Entregue la identificación y descripción completa del material ensayado, incluyendo nombre, código, fuente y tipo de contenedor de la muestra. Un ejemplo de formato se encuentra en el ANEXO F.
- 15.2** Describa el instrumento usado para el ensayo, incluyendo el número del modelo.
- 15.3** Los niveles de deformación y tensión especificados en las pulación por parte del operador.
- 15.4** TABLA 8.302.22 B y
- 15.5** TABLA 8.302.22 C han sido seleccionados para asegurar un punto de referencia común, que ha mostrado estar dentro de la región lineal para ligantes asfálticos originales y modificados. Algunos sistemas pueden no ser lineales en esta región. Cuando esta situación se observe, informe el módulo a los niveles de tensión o deformación recomendados, pero informe que las condiciones de ensayo resultaron fuera de la región lineal.
- 15.6** Para cada ensayo informe lo siguiente:
- 15.6.1** Diámetro del plato de ensayo, aproximado a 0,1 [mm] y separación de ensayo, aproximados a 1[ $\mu$ m],
- 15.6.2** Temperatura de ensayo, aproximada a 0,1 [°C],
- 15.6.3** Frecuencia de ensayo, aproximada a 0,1 [rad/s],
- 15.6.4** Amplitud de deformación, aproximada a 0,01 %, o el torque, aproximado al [mN·m],
- 15.6.5** El módulo complejo  $G^*$  para las 10 mediciones, en [kPa] con tres cifras significativas,
- 15.6.6** El ángulo de fase  $\delta$  para los segundos 10 ciclos, aproximado a 0,1 grados,
- 15.6.7**  $G^*/\sin(\delta)$ , con precisión de 0,01 [kPa] o  $G^* \sin(\delta)$  aproximado al entero.

## **16 PRECISIÓN Y SESGO**

- 16.1 Precisión:** Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de corte dinámico obtenidos por este método, están dados en la
- 16.2**
- 16.3** TABLA 8.302.22 D. Los valores en la columna 2 de la

**16.4**

**16.5** TABLA **8.302.22 D** son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1.

La precisión estimada está dada en la

TABLA **8.302.22 D** y basado en un análisis de un conjunto de resultados recolectados entre 185 a 208 laboratorios ensayando 8 pares de muestras competentes de AMRL. El análisis incluye 5 grados de aglomerante asfáltico PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22 and PG 76-22 (SBS modificado). Los detalles de este análisis están en reporte final NCHRP Project No. 9-26, Phase 3.

**16.5.1 Repetibilidad:** Precisión para un mismo operador. Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la

**16.5.2**

**16.5.3** TABLA **8.302.22 D**, columna 3.

**16.5.4 Reproducibilidad:** Precisión multilaboratorio. Dos resultados emitidos por dos diferentes operadores, ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la

**16.5.5**

**16.5.6** TABLA **8.302.22 D**, columna 3.

**TABLA 8.302.22 D  
 PRECISIONES ESTIMADAS**

| Condición  | Desviación Estándar (1s) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>1</sup> |
|--|---------------------------------------|---|
| Precisión de un mismo operador:                  |                                       |   |
| Ligante original: $G^*/\text{sen}(\delta)$ [kPa] | 2,3                                   | 6,4   |
| Residuo RTFO: $G^*/\text{sen}(\delta)$ [kPa]     | 3,2                                   | 9,0   |
| Residuo PAV: $G^* \text{sen}(\delta)$ [kPa]      | 4,9                                   | 13,8  |
| Precisión Multilaboratorio:                      |                                       |   |

**ANEXO A**  
**USO DEL FLUIDO DE REFERENCIA**  
(Información obligatoria)

- A.1. Fuente del fluido de referencia:** *Un polímero orgánico producido por Cannon Instrument Company con viscosidad estándar N2700000SP ha sido considerado adecuado como fluido de referencia para calibrar el DSR. La viscosidad del fluido, como lo determina NIST-traceable capillary viscosity measurements, es aproximadamente 270 [Pa·s] a 64 [°C], de todos modos, la viscosidad del fluido varía de un lote a otro. La viscosidad específica del lote está impreso en la etiqueta de la botella.*
- A.2. Precauciones en el uso del fluido de referencia:**  
*Algunos puntos que se deben considerar al usar este fluido son:*
- A.2.1.** *El fluido no se puede utilizar para verificar la exactitud de la medición del ángulo de fase.*
- A.2.2.** *El fluido no debe climatizarse con calefacción, se puede degradar el fluido causando un cambio en su viscosidad.*
- A.2.3.** *El líquido debe ser utilizado para la verificación sólo después de que la medición de temperatura del DSR se haya verificado.*
- A.2.4.** *No utilizar el fluido para calibrar el torque del transductor, debe ser realizada por el fabricante u otro servicio calificado usando un calibrador diseñado especialmente para el reómetro. Estos aparatos de calibración no suelen estar disponibles en los laboratorios.*
- A.2.5.** *Cuando se ensaya a 10 [rad/s], el fluido de referencia sólo se debe utilizar entre 58 y 64 [°C].*
- A.2.6.** *La aparición de burbujas en el fluido tiene un efecto drástico en el valor de la viscosidad. El fluido en la botella debe estar libre de burbujas y se debe tener cuidado de no introducir burbujas en la preparación de las muestras del ensayo. Los procedimientos recomendados para la preparación de muestras de ensayo se dan en A.4.*
- A.3. Entre los diferentes métodos de conversión entre la viscosidad dinámica y estable de los polímeros, el más popular y exitoso es la denominada regla empírica de Cox-Merz. La regla se refiere, en términos simplificados, a la siguiente aproximación:**

$$G^*/\omega; \eta$$

*Ecuación 12. Módulo complejo de corte.*

*Donde,*

*G\* = Módulo complejo de corte,*

*$\omega$  = Frecuencia angular en radianes/s*

*$\eta$  = Viscosidad capilar independiente - velocidad de corte según lo informado por el proveedor del fluido de referencia.*

- A.3.1.** *Para aplicar esta regla de medición debe estar dentro de la región de viscosidad, donde el ángulo de fase se aproxima a 90°. El valor del módulo complejo es entonces simplemente 10 veces el valor de la viscosidad capilar, Por ejemplo, si la viscosidad capilar es 270.000 [mPa·s] el módulo complejo es:*

$$G^*, kPa \approx (27000 [mPa \cdot s]) \left( \frac{1 [kPa]}{1000000 [mPa]} \right) \left( 10 \left[ \frac{rad}{s} \right] \right)$$

$$= 2,70 \text{ [kPa} \cdot \text{rad]}$$

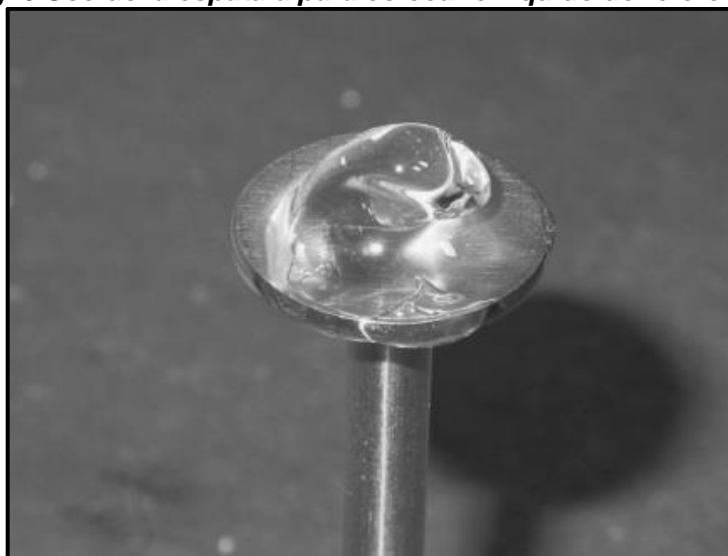
- A.3.2.** *El fluido de referencia se comporta como un fluido viscoso desde los 64 [°C] hacia arriba y proporciona una estimación bastante precisa de  $G^*$  sobre los 64 [°C]. A temperaturas bajo los 58 [°C] el fluido entrega valores incorrectos para  $G^*$  aumentando a medida que la temperatura se aleja de los 64 [°C]. A los 64 [°C] y sobre  $G^*$  dividido la frecuencia en [rad·s] la variación no debe ser más de un 3 % de la viscosidad impresa en la etiqueta de la botella. Si este no es el caso, entonces la calibración del torque debe ser considerado sospechosa.*
- A.4.** *Métodos para transferir el fluido a los platos de ensayo: Tres métodos diferentes para transferir el fluido a las platos de ensayo, método de varilla de vidrio (véase A.4.1), método de la espátula (véase A.4.2), y método directo donde el plato de ensayo extraíble se mantiene en contacto directo con el fluido en la botella (véase A.4.4).*
- A.4.1.** *Método de la varilla de vidrio: En este método una varilla de vidrio se inserta en el fluido y se gira. (Paso 1) Continuar girando la varilla y retirarla lentamente del fluido. (Paso 2) Llevar una pequeña masa del fluido en la varilla. Toque la masa con la placa (Paso 3) para transferir el fluido a la esta.*
- A.4.2.** *Método de la espátula: (véase*
- A.4.3.** *Fig. 6). Cuando se requiera transferir el fluido con cuidado, utilizar una espátula. Se debe tener cuidado de no atrapar aire al sacar el material desde el recipiente (Paso 1), esparcir la masa de la espátula sobre el plato (Paso 2) y cortar la masa que sobresalen de los bordes de la placa con la espátula (Paso 3). Este método parece ser el más difícil de poner en práctica y es el menos recomendado de los tres métodos.*
- A.4.4.** *Método directo: Si el reómetro está equipado con platos removibles que no afectan la distancia de referencia entre ellos (Gap). Remover uno de los platos y tocar la superficie del plato con la superficie del fluido de la botella (Paso 1). Retirar el plato desde la botella, poniendo una porción del fluido en el plato (Paso 2). De vuelta el plato y permita que el fluido fluya formando una concavidad (Paso 3).*
- A.5.** *Proceder inmediatamente a 0 para cortar la muestra del fluido de referencia y a 0 para formar una protuberancia.*
- A.6.** *Ensayar la muestra del fluido de referencia como se describe en la sección 13.*



*Fig. 5. Uso de una varilla de vidrio para colocar el líquido de referencia en el plato.*



*Fig. 6. Uso de la espátula para colocar el líquido de referencia.*



*Fig. 7. Método directo para transferir el líquido de referencia al plato.*

**ANEXO B**  
**LINEALIDAD DE ENSAYO DE LIGANTES ASFÁLTICOS**  
(Información obligatoria)

**B.1. Alcance**

**B.1.1.** Este procedimiento permite determinar la linealidad de ligantes asfálticos originales (no envejecidos). La linealidad de ligantes asfálticos está determinada para la temperatura respectiva más alta del grado de desempeño. *Ej. 52, 58, 64, 70, 76 o 82 [°C]. La determinación está basada en el cambio del módulo complejo de corte a 10 [rad/s] cuando la deformación aumenta desde 2 a 12 %.*

**B.2. Procedimiento**

**B.2.1.** Prepare muestras de acuerdo según lo descrito en la sección 12 del presente método.

**B.2.2.** Programe el reómetro de corte dinámico de acuerdo a la sección 11.

**B.2.3.** *Preparar la muestra para ser ensayada en los platos de 25 [mm] como en la sección 12. Seleccionar la temperatura de ensayo de grado mayor para el ligante en cuestión.*

**B.2.4.** *Determinar el módulo complejo de corte a 2 y 12% de deformación siguiendo los procedimientos descritos en la sección 14 excepto las descritas debajo. Siempre comenzar con la menor deformación a la mayor.*

**B.3. Reómetros controlados por deformación:** Si el programa del DSR realiza el cambio de deformación automáticamente, prográmelo para obtener el módulo de corte complejo de la deformación al 2, 4, 6, 8, 10 y 12%. Si la opción automática no está disponible, probar seleccionando manualmente deformaciones de 2, 4, 6, 8, 10, y 12 %.

**B.4. Para reómetro de tensión controlada:** *Calcule la tensión inicial basada en el módulo complejo de corte,  $G^*$  y esfuerzo de corte  $\tau$ , determinada a la temperatura mayor del grado de la clasificación del ligante. A esta temperatura,  $G^*$  será  $\geq 1.00$  [kPa] y el esfuerzo de corte  $\tau$ , estará entre 0,09 y 0,15 [kPa] (véase*

*B.5. TABLA 8.302.22 C). Calcular la tensión inicial como  $\tau/(6,00$ [kPa]), ir aumentando la tensión cada 5 veces  $\tau/(6,00$ [kPa]).*

**Nota B1.1:** *Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con  $G^*=1,290$  a 64 [°C] y  $\tau=0,135$  [kPa]. Tensión inicial =  $0,135$ [kPa]/6 =  $0,225$  [kPa]. Ensayar a  $0,225$ ;  $0,450$ ;  $0,675$ ;  $0,900$ ;  $1,13$  y  $1,35$  [kPa].*

**B.6. Gráfico de módulo complejo vs deformación:** *Prepare el gráfico del módulo complejo de corte versus el porcentaje de deformación que muestra la*

**B.7.** *Fig. 4, determine el módulo complejo de corte a 2 y 12 % de la deformación.*

**B.8. Cálculos:**

**B.8.1.** *Calcular la razón del módulo como el módulo complejo de corte al 12 % de tensión dividido por el módulo complejo de corte a 2 % de la deformación.*

**B.9. Informe lo siguiente:**

**B.9.1.** *Módulo de corte complejo ( $G^*$ ) con tres cifras significativas,*

- B.9.2.** *Deformación, aproximada al 0,1 %,*  
**B.9.3.** *Frecuencia, aproximada a 0,1 [rad/s],*  
**B.9.4.** *Razón entre el módulo a 12% de deformación con el módulo al 2 %.*  
**B.10.** *Interpretación de resultados:*  
**B.10.1.** *Las mediciones han sido realizadas en un rango no lineal del material, si la razón del módulo es calculada como en B.6.1 es  $< 0,9$  y lineal si es  $\geq 0,9$ . Calcule  $0,9 \cdot G^*$  al nivel de deformación mínimo de 2 %. Si la medición fue realizada en el rango no lineal del material, los resultados obtenidos bajo este método será considerado como inválido para aplicar especificación de ligante de acuerdo a 8.301.8.*

## ANEXO C GRÁFICOS DE CONTROL

### C.1. Gráficos de control

- C.1.1.** *Los gráficos de control son comúnmente utilizados por varias industrias, incluyendo la industria vial, para controlar la calidad de los productos. Los gráficos de control proporcionan un medio para organizar, mantener e interpretar datos de prueba. Como tal, los gráficos de control son un excelente medio para organizar, mantener, e interpretar los datos de prueba de verificación del DSR. Los procedimientos formales basados en principios estadísticos se utilizan para desarrollar gráficas de control y los procesos de decisión forman parte del control de calidad estadístico.*

*Un gráfico de control de calidad es simplemente una representación gráfica de los datos de prueba en el tiempo. Al realizar un gráfico con los resultados obtenidos en el laboratorio para un fluido de referencia, es fácil ver cuándo:*

- Las mediciones son controladas y tanto el operador como la maquina están funcionando correctamente.*
- Las mediciones se están volviendo más variables con el tiempo, posiblemente exista un problema con el equipo de prueba o el operador.*
- Las mediciones del laboratorio para el fluido están, dentro del promedio, sobre o debajo del valor deseado (fluido de referencia).*

*Muchos software excelentes están disponibles para realizar y mantener los gráficos de control. Algunos paquetes de análisis estadísticos computarizados contienen procedimientos que permiten realizar gráficos de control. Las hojas de cálculo como Excel también pueden ser utilizadas para formar los gráficos de control y por supuesto, también se pueden realizar manualmente.*

### C.1.2. Cuidado en la selección de información

- C.1.2.1.** *Los datos utilizados para generar los gráficos de control deben obtenerse con cuidado. La idea de la aleatoriedad es importante, pero no debe complicarse innecesariamente. Un ejemplo demostrará por qué se necesita una muestra aleatoria. Un laboratorio siempre mide el fluido de referencia al inicio del turno o jornada de trabajo. Estas mediciones pueden ser producto de errores en la puesta en marcha, tales como la falta de estabilidad en la temperatura cuando el*

**dispositivo se enciende. La muestra aleatoria asegura que la medición es representativa del proceso o del material ensayado. Dicho de otra manera, una muestra aleatoria tiene la misma probabilidad de ser realizada, medida como cualquier otra muestra. Una medida o una muestra tomada siempre al principio o al final del día, o justo antes del descanso, no tiene esta oportunidad.**

## **C.2. Ejemplo**

**C.2.1. La funcionalidad de los gráficos de control se ilustra en la Fig.8 utilizando los datos de verificación obtenidos para el DSR. Otra toma de datos adecuada para la verificación del DSR y realización de gráficos de control incluye mediciones para determinar la temperatura de corrección, calibración del termómetro electrónico y el mantenimiento de la información generada internamente de las muestras de referencia del ligante asfáltico. Para este ejemplo la viscosidad reportada para el fluido de referencia es 271 [Pa·s] y por lo tanto el valor calculado para  $G^*$  es 2,71 [kPa]. Este valor de  $G^*$  es etiquetado como “ $G^*$  del fluido de referencia” en la Fig. 8. El laboratorio debe obtener este valor en el promedio si no hay un sesgo de laboratorio.**

**C.2.2. Comparación del promedio de los resultados obtenidos en el laboratorio para  $G^*$  durante 22 semanas con el valor calculado a partir del líquido de referencia**

**C.2.2.1. El promedio de las mediciones de laboratorio durante 22 semanas se determina como "Promedio de laboratorio en 22 semanas" en la Fig. 8. No se encuentra el origen de la referencia. Durante las 22 semanas en que se realizaron las mediciones el promedio fue de 2,73 [kPa]. Esto se compara favorablemente con el valor de referencia calculado; 2,71 [kPa], que difieren del promedio en un 0,7 %. El sesgo de laboratorio es pequeño para estos datos.**

**C.3. Comparación entre el coeficiente de variación de las mediciones del laboratorio con el coeficiente de variación Round Robin**

**C.3.1. A partir de estudios previos de Round Robin la desviación estándar dentro del laboratorio ( $d1s$ ) para el fluido fue 0,045 (CV = 1,67 %). La desviación estándar de 22 semanas para  $G^*$  es 0,051 (CV = 1,86 %), en comparación con 0,045 (CV = 1,67 %) de Round Robin. Sin embargo, debe señalarse que el de 22 semanas (CV = 1,86 %), también incluye el día a día de la variabilidad, un componente de la variabilidad no incluido en el valor de la  $d1s$  Round Robin. Basado en esta información, la variabilidad de las mediciones de laboratorio es aceptable.**

**C.4. Variabilidad de los valores obtenidos**

**C.4.1. En la Fig. 8, el valor de  $G^*$  calculado a partir del fluido de referencia se muestra como una línea sólida. También se muestran dos líneas discontinuas que representan el  $G^*$  calculado a partir del fluido de referencia  $\pm 2d1s$  donde  $d1s$  es el valor de Round Robin. El valor de referencia calculado para el fluido es 2,71 [kPa] y la desviación estándar es 0,045. Por lo tanto, una desviación de  $2d1s$  da valores de:**

$$2,71 \text{ [kPa]} \pm (2)(0,045) = 2,80 \text{ [kPa]}; 2,62 \text{ [kPa]}$$

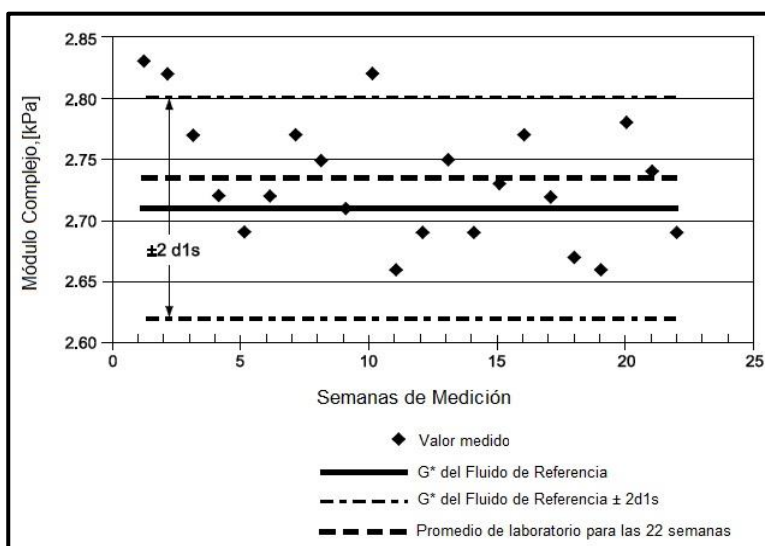
**Ecuación 13. Desviación estándar de 2d1s.**

**Si se controlan los procedimientos de laboratorio, el equipo se calibra correctamente, y no hay sesgo de laboratorio, el 95 % de las mediciones debe estar dentro de los límites de 2,62 [kPa] y 2,80 [kPa]. Las mediciones de laboratorio fuera de este rango son sospechosas y la causa del valor atípico debe ser investigada. El valor atípico puede ser resultado de cualquier ensayo de variabilidad o sesgo del laboratorio. La medición de la semana 10 en la Fig. 8 está fuera de los límites  $\pm 2d1s$  y es motivo de sospecha, por lo tanto se debe investigar el procedimiento y la verificación.**

**Si una medición se desvía del valor esperado, en este caso  $G^*$  del fluido de referencia, por más de  $\pm 3d1s$ , se iniciará una acción correctiva. Los límites  $\pm 3 d1s$  99,7 % de los valores medidos si los procedimientos de laboratorio están bajo control y el equipo está correctamente calibrado.**

**C.4.2. Tendencias en los resultados**

**C.4.2.1. El gráfico de control también puede ser utilizado para identificar las tendencias no deseadas en los datos. Por ejemplo de la semana 1 a la 5 se observó una disminución constante en el valor medido. Esto es preocupante y el motivo de la tendencia debe ser investigada. Normas más sofisticadas para el análisis de las tendencias en los gráficos de control se pueden encontrar fácilmente.**



**Fig. 8 Gráfico de control.**

**El gráfico de control también puede ser utilizado para identificar las tendencias no deseadas en los datos. Por ejemplo de la semana 1 a la 5 se observó una disminución constante en el valor medido. Esto es preocupante y el motivo de la tendencia debe ser investigada. Normas más sofisticadas para el análisis de las tendencias en los gráficos de control se pueden encontrar fácilmente.**

**ANEXO D**

**SELECCIÓN DE LA DISTANCIA INICIAL (GAP) PARA OBTENER UNA PROTUBERANCIA**

**D.1. Necesidad de la precisión para medida del diámetro de la probeta**

**D.1.1.** *La precisión de las mediciones de DSR depende de la precisión del diámetro de la muestra. El diámetro de la muestra de ensayo se asume igual al diámetro de los platos de ensayo. Por esta razón, el recorte del exceso de ligante asfáltico, la distancia entre los platos y que estén bien juntos son críticos para producir una ligera protuberancia en la muestra de ensayo. Cuando los platos se cierran a su distancia final, la protuberancia debe tener un tamaño suficiente para compensar cualquier contracción en el ligante y evitar una superficie cóncava como se muestra en la Fig. 9. El diámetro de la muestra de ensayo en la Fig. 9 se aproxima a  $d$ , en lugar de  $d'$ , el diámetro del plato. El módulo  $G^*$  se calcula según la siguiente ecuación:*

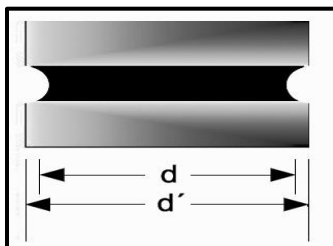
$$|G^*| = \left(\frac{2h}{\pi r^4}\right)\left(\frac{\tau}{\theta}\right)$$

*Ecuación 14 Módulo de corte complejo.*

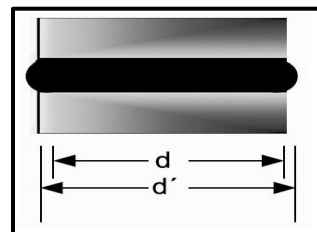
**Donde,**

- $G^*$  = Módulo de corte complejo,
- $\tau$  = Torque aplicado a la probeta,
- $h$  = Espesor de la probeta,
- $\theta$  = Ángulo de rotación, radianes
- $r$  = Radio de los platos de ensayo.

**D.1.2.** *De acuerdo a la Ecuación 14 el módulo depende del radio (o diámetro) elevado a la cuarta potencia. Por lo tanto, una pequeña concavidad en la superficie exterior de la muestra, como se aprecia en la Fig. 9, tendrá un gran efecto sobre el módulo medido debido a que el diámetro de la probeta real será inferior que el diámetro del plato. Para una concavidad específica, el efecto sobre el módulo medido es mayor para los platos de 8 [mm] que para platos de 25 [mm]. El resultado más favorable es una ligera protuberancia como se ilustra en la Fig. 10. Los esfuerzos de corte no se transfieren directamente desde los platos al ligante en voladizo y por lo tanto el efecto de una protuberancia ligera en el módulo medido es mucho menor que una ligera concavidad. Se debe tener en cuenta que los errores en el diámetro de la muestra de ensayo no afectan a los valores de medición del ángulo de fase.*



*Fig. 9 Superficie cóncava resultado de distancia insuficiente entre los platos luego de ser cortada.*



*Fig. 10 Protuberancia*

**D.2. Recomendaciones para la distancia inicial (Gap).**

**D.2.1.** La distancia requerida para formar una protuberancia en la prueba de temperatura similar a la protuberancia ilustrada en la Fig. 10 son dadas en la sección de formación de protuberancia como 50[ $\mu\text{m}$ ] y 100[ $\mu\text{m}$ ] para platos de 25[mm] y 8[mm] respectivamente. Aunque estas medidas pueden ser apropiadas para muchos reómetros, pueden no serlo para todos. La aplicación de estos valores a un reómetro específico puede determinarse mediante la preparación de la muestra de ensayo utilizando el gap recomendado y observar la forma de la protuberancia después de que la distancia entre los platos se alcance y la muestra de ensayo esté a la temperatura de ensayo. Si la distancia recomendada no forma la protuberancia deseada, las distancias recomendadas deben ajustarse para cada caso en particular.

**D.2.2.** Protuberancias propias e impropias se muestran en las Fig. 11 a Fig. 13. Una lupa es útil para observar la forma de la protuberancia. Independientemente de la distancia requerida para producir una protuberancia adecuada, se debe utilizar el gap real para el cálculo.



Fig. 12 Protuberancia de tamaño adecuado.

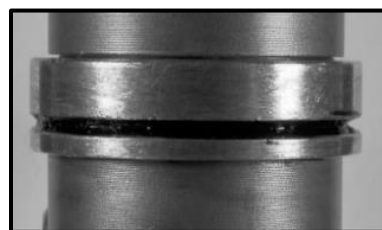


Fig. 11 Protuberancia Cónca.

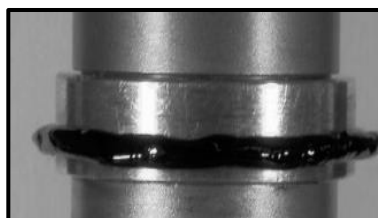


Fig. 13 Protuberancia excesivamente grande.

**D.3. Factores que afectan la formación de la protuberancia.**

**D.3.1.** Un sin fin de factores pueden afectar la formación de la protuberancia a la temperatura de ensayo, esto incluye:

- La separación entre los platos utilizados para crear la protuberancia.
- La diferencia de temperatura entre, temperatura de corte, temperatura de creación de la protuberancia y temperatura de ensayo.
- Características térmicas de expansión - contracción del reómetro, y
- Contracción y expansión térmica del ligante asfáltico.

Es más probable que se forme una superficie cóncava a temperaturas intermedias que a temperaturas elevadas (platos de 8 [mm] más que los platos de 25 [mm]). En efecto, a mayor temperatura el exceso de material

*puede ser derramado desde los platos como se muestra en la Fig.13; Error! No se encuentra el origen de la referencia.. Esta situación debe ser evitada y puede requerir que la separación entre los platos (gap) sea menor que los valores recomendados.*

## ANEXO E

### DETERMINACIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA ALCANZAR EL EQUILIBRIO TÉRMICO

- E.1. Razón para determinar el tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico.**
  - E.1.1. Después de que la probeta ha sido montada en el DSR, toma tiempo para que el ligante asfáltico entre los platos adquiera el equilibrio térmico. Debido al gradiente térmico existente dentro de los platos y la probeta, puede tomar más tiempo para la probeta llegar al equilibrio térmico que el tiempo indicado por el termómetro del DSR. Por lo tanto, es necesario determinar el tiempo requerido experimentalmente para que la probeta alcance el equilibrio.**
  - E.1.2. El tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico varía en los diferentes reómetros. Los factores que afectan el tiempo necesario para llegar al equilibrio térmico incluyen:**
    - E.1.2.1. Diseño del reómetro, si se utiliza líquido o aire como medio de temperación,**
    - E.1.2.2. Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de ensayo, diferente cuando se ensaya por debajo de la temperatura ambiente y sobre ella,**
    - E.1.2.3. Diferencia entre temperatura de corte de la protuberancia y temperatura de ensayo.**
    - E.1.2.4. Dimensión del plato, diferente para platos 8 [mm] y 25 [mm].**
- E.2. No es posible determinar el tiempo específico para alcanzar el equilibrio térmico. Por ejemplo, el equilibrio térmico es alcanzado más rápidamente en reómetros controlados con líquidos que reómetros controlados con enfriadores de aire. Esto quiere decir que el tiempo para lograr el equilibrio térmico dependerá de cada reómetro, de los cortes, temperaturas de ensayo y condiciones de ensayo.**
- E.3. Método de determinación del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico**
  - E.3.1. Una estimación fiable del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio térmico se puede obtener monitoreando la temperatura del DSR y el Módulo complejo de una muestra. Debido a que el módulo es altamente sensible a la temperatura, es un excelente indicador del equilibrio térmico. Los siguientes procedimientos son recomendados para establecer el tiempo en alcanzar el equilibrio térmico.**
  - E.3.2. Monte una muestra de ligante en el DSR y ajústelo de la forma habitual. Forme una protuberancia y lleve la cámara o el fluido a la temperatura de ensayo.**
  - E.3.3. Opere el reómetro en modo continuo a 10 [Rad/s] usando un ligante asfáltico original, uno que no cambie su módulo con cortes reiterativos. Use el valor de la deformación que brinde resultados representativos.**

- E.3.4. Anote el módulo a intervalos de 30 [s] y realice un gráfico del Módulo en función del tiempo (véase Fig. 8).**
- E.3.5. El tiempo para alcanzar el equilibrio térmico es el requerido para que el módulo sea constante. Normalmente, este tiempo será mayor que el necesitado por el termómetro del DSR para que su lectura sea constante.**
- E.3.6. Porque el tiempo para alcanzar el equilibrio térmico varía de acuerdo a la temperatura de ensayo, se establecerán tiempos para mediciones a temperaturas intermedias y altas.**

**ANEXO F  
 EJEMPLO DE REPORTE**

*Información principal:*

| ítem  | Información grupo 1 | ítem                                    | Información grupo 2 |
|---|---------------------|---|---------------------|
| Nombre del operador                               | 24 Alfa-numérico    | Fecha de ensayo:                        | __/__/__            |
| N° ID de la muestra                               | 18 Alfa             | Tiempo de ensayo:                       | __:__               |
| N° ID del Proyecto                                | 12 Alfa-numérico    | Fabricante del DSR:                     | 12 Alfa-numérico    |
| Nombre del archivo                                | 12 Alfa-numérico    | Modelo del DSR:                         | 12 Alfa-numérico    |
| Diámetro plato del ensayo, con precisión 0,01[mm] | 00,00               | N° de serie u otra identificación N°ID: | 18 Alfa-numérico    |
| Frecuencia del ensayo, [rad/s]                    | 0,00                | Versión del software                    | 12 Alfa-numérico    |
| Gap de ensayo, 0,01[mm]                           | 00,00               |   |                     |

*Resultados del ensayo por grados (Usar columnas separadas para cada temperatura de ensayo):*

| Mediciones   | Información grupo 3 | Información grupo 4 | Información grupo 5 | Información grupo 6 |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Temperatura muestra, 0,1[°C]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Temperatura de corrección a temperatura de ensayo, 0,1[°C]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Amplitud de tensión, [kPa]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Amplitud de deformación %  | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo, $G^*$ , [kPa]   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Ángulo de fase, grados   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo / sin (Ángulo de fase)   | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Módulo complejo x sin $\delta$ (Ángulo de fase)  | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                |
| Comentarios desplegados por el software del DSR (Ej., Este materia pasa)   |                     |                     |                     |                     |
| Al final del archivo, 276 archivos alfanuméricos para comentarios del operador y comentarios, si cualquiera, generado por el software del DSR. |                     |                     |                     |                     |

*Resultados de ensayo para determinar la linealidad:*

| Mediciones   | Información Grupo 7 |                     |                      |                      |                      |                      |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Temperatura muestra, 0,1[°C]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Temperatura de corrección a temperatura de ensayo, 0,1[°C]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Mediciones   | Información Grupo 8 | Información Grupo 9 | Información Grupo 10 | Información Grupo 11 | Información Grupo 12 | Información Grupo 13 |
| Amplitud de tensión, [kPa]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Amplitud de deformación %  |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Módulo complejo, $G^*$ , [kPa]   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Ángulo de fase, grados   |                     |                     |                      |                      |                      |                      |
| Al final del archivo, 276 archivos alfanuméricos para comentarios del operador y comentarios, si cualquiera, generado por el software del DSR. |                     |                     |                      |                      |                      |                      |

## 17 REFERENCIAS

- Cox, W. P., and Merz., E. H., "Correlation of Dynamic and Steady Flow Viscosities," *Journal of Polymer Science*, Vol 28, 1958, pp.619-622.
- Anderson, D. A., Antle, C. E., Knechtel, K., and Liu, Y., "Interlaboratory Test Program to Determine the Inter- and Intra-Laboratory Variability of the SHRP Asphalt Binder Tests," FHWA, 1997.
- Wadsworth, Harrison, ed., *Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, NY, NY, 1990.
- Anderson, D. A., and Marasteanu, M, *Manual of Practice for Testing Asphalt Binders in Accordance with the Superpave PG Grading System*, The Pennsylvania Transportation Institute, The Pennsylvania State University, PTI 2K07, November 1999 (Revised February 2002).

---

# ANEXO K:

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN  
MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA  
VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO  
ROTACIONAL BROOKFIELD

## 8.302.24 ASFALTOS: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD

### 1 ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 1.1** Este método entrega un procedimiento para medir la viscosidad aparente del asfalto a temperaturas desde 60 a 260 [°C], usando un Viscosímetro Rotacional equipado con el sistema Thermosel.
- 1.2** La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.
- 1.3** Algunos asfaltos pueden exhibir un comportamiento no newtoniano bajo las condiciones de este ensayo, o a temperaturas dentro del rango de este método. Los valores de viscosidad no newtonianos no son la única propiedad del material, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo las condiciones particulares del ensayo. En estos casos, las medidas hechas con este método no siempre predicen el comportamiento bajo las condiciones de uso posterior. Las comparaciones entre valores de viscosidad no newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones.
- 1.4** *Los valores indicados en unidades SI o unidades pulgadas-libras deben considerarse por separado como estándar. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes. Por lo tanto, cada sistema se utilizará independiente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad.*

**Nota 1:** El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En este Método no se indican todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer las medidas apropiadas de seguridad e higiene.

### 2 REFERENCIAS

- Manual de carreteras:
  - Especificación 8.301.8 Asfaltos: Especificaciones Superpave.
- AASHTO:
  - M320, Performance-Graded Asphalt Binder.
  - R29, Grading or Verifying the Performance Grade of an Asphalt Binder.
  - T316-13, Viscosity Determination of Asphalt Binder Using Rotational Viscometer.
  - R66, Sampling Asphalt Materials.
- ASTM:
  - C670, Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.
  - D4402/D4402M-15, Viscosity Determination of Asphalt Binder Using

Rotational Viscometer.

- E1, Standard specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers.
- E644 Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers.
- E1137 Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers.
- E2975 Test Method for Calibration of Concentric Cylinder Rotational Viscometers.

### 3 TERMINOLOGÍA

- 3.1 Viscosidad:** Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y comúnmente se denomina viscosidad. En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el Pascal-Segundo [Pa·s].
- 3.2 Asfalto con polvo mineral:** *Mezcla de asfalto que contiene partículas finas de materia mineral insoluble.*
- 3.3 Líquido newtoniano:** *Líquido para el cual la tasa de corte es proporcional a la tensión de corte. La relación constante de la tensión y velocidad de corte es la viscosidad del líquido. La viscosidad de un líquido newtoniano, por tanto, no depende de su velocidad de corte. Si la relación no es constante, el líquido es no newtoniano. Muchos de los líquidos presentan un comportamiento tanto newtoniano y no newtoniano, dependiendo de la velocidad de corte, temperatura, o ambos.*
- 3.4 Velocidad de corte:** *Medida de la velocidad a la cual las capas intermedias del líquido se mueven con respecto a las otras. Su unidad de medida es [s<sup>-1</sup>].*
- 3.5 Esfuerzo de corte:** *Fuerza por unidad de área requerida para producir el corte. Su unidad de medida en SI es el Pascal, y en CGS es [dina/cm<sup>2</sup>].*
- 3.6 Vástago o Spindles:** *Parte del equipo que se introduce en la muestra de asfalto, la medición del vástago a utilizar, junto con la resistencia rotacional del torque, se utilizan para calcular la viscosidad aparente. Este aparato puede ser referido por el fabricante como spindles, cilindro concéntrico interior, paleta, y entre otros.*

### 4 RESUMEN DEL MÉTODO

- 4.1** Este método se utiliza para medir la viscosidad del asfalto a altas temperaturas. Una pequeña muestra de asfalto se coloca en un contenedor especial termostáticamente controlado. La medida del torque aplicado sobre un vástago cilíndrico que gira sumergido en la muestra de asfalto, se utiliza para determinar la resistencia relativa a la rotación. El torque y la velocidad de giro permiten determinar la viscosidad del ligante

### 5 APARATOS Y MATERIALES

- 5.1 Viscosímetro Rotacional:** Capaz de medir el torque necesario para hacer girar un vástago sumergido en ligante asfáltico a temperatura de ensayo fija y a una velocidad constante; el equipo debe poseer una pantalla digital y mostrar la viscosidad en Pascal-Segundos ([Pa·s]) automáticamente.

- 5.2 Vástagos o spindles:** De varias medidas para ser utilizados con ligantes asfálticos de diferentes viscosidades.
- 5.3 Controlador de Temperatura:** Un controlador de temperatura (como el Thermosel, Brookfield), capaz de mantener la temperatura de la muestra con una precisión de  $\pm 0,1$  [°C] para temperaturas de ensayo de **60 a 165 [°C]**.
- 5.4 Horno:** Capaz de mantener y controlar cualquier temperatura desde la **temperatura ambiente hasta 260 [°C], con una precisión de  $\pm 3$  [°C]**.
- 5.5 Termómetros:** Para medir temperaturas desde 60 hasta 212 [°C] con una lectura de 0,1 [°C].
- 5.6 Balanza:** Con capacidad para 2.000 [g] y lectura de 0,1 [g].
- 5.7 Solventes:** Solventes o limpiadores desgrasantes, formulados para limpiar los contenedores de muestras, vástagos y accesorios.
- 5.8 Contenedor de la muestra:** Reutilizable o desechable.

## 6 CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

- 6.1** La precisión del transductor rotacional del viscosímetro se verifica usando un líquido de referencia (líquido newtoniano) de viscosidad conocida a varias temperaturas. El comportamiento newtoniano del líquido, en todo el rango de temperaturas de ensayo y velocidad de corte, debe estar certificado. La viscosidad medida con el viscosímetro debe estar dentro de un  $\pm 2$  % o el transductor rotacional requiere una calibración.
- 6.2** La precisión de la lectura de temperatura del controlador se verifica **colocando una muestra de asfalto en la cámara hasta que la temperatura se estabilice a una temperatura previamente determinada**. La temperatura indicada debe ser verificada mediante un dispositivo NIST, tal como se indica en la norma ASTM E1.

## 7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 7.1** *El viscosímetro rotacional debe ser nivelado para funcionar apropiadamente. Generalmente se encuentra un nivel de burbuja en la superficie del viscosímetro y es ajustado mediante tornillos ubicados en la base. Si el controlador del torque y la cámara ambiental son elementos separados, ambos deben ser nivelados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.*

## 8 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- 8.1** Obtenga las muestras de asfalto original o modificado, de acuerdo al 8.302.1, Asfaltos: Métodos de Muestreo.
- 8.2** Caliente el asfalto hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensayo remueve asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) el cual puede ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

**Nota 2:** Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento que produzca una consistencia equivalente a la del aceite SAE 10W30 a temperatura ambiente. La

temperatura específica dependerá del grado asfáltico y su historia de envejecimiento previa, si la tiene. Es deseable no calentar los asfaltos a más de 135 [°C], sin embargo algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir temperaturas mayores.

## 9 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 9.1 Leer y comprender la información contenida en el manual de instrucciones del fabricante del viscosímetro rotacional antes de proceder.
  - 9.2 Encender el viscosímetro rotacional y el controlador de temperatura.
  - 9.3 Precalear el contenedor de asfalto, el soporte y el vástago seleccionado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
  - 9.4 Configurar el controlador de temperatura a la temperatura de ensayo deseada.
  - 9.5 Calentar la cantidad requerida de ligante asfáltico, según lo recomendado por el fabricante, de acuerdo al numeral 8.
  - 9.6 Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, retire el soporte de las muestras y coloque la cantidad de ligante requerida en el contenedor de asfalto.
  - 9.7 Inserte el contenedor de la muestra en la unidad controladora de temperatura.
  - 9.8 Inserte un vástago previamente precalentado y únalo a la parte inferior del viscosímetro, utilizando los accesorios de acoplamiento incluidos con el equipo. Una vez acoplado, bájelo suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra la parte cónica superior del vástago. Este procedimiento debe ser basado en las recomendaciones del fabricante.
- Nota 3:** No llene demasiado el contenedor de la muestra, pero asegúrese de que la porción de medida del vástago este completamente sumergido. Siga las instrucciones del fabricante. El volumen de la muestra es crítica para cumplir con el estándar de calibración del sistema.
- 9.9 Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de ensayo dentro de 30 [min] aproximadamente y permita que la temperatura se estabilice durante 10 [min].
  - 9.10 Configure la velocidad de giro del viscosímetro a 20 [rpm] y ajuste el equipo para la lectura de la viscosidad en Pascal-Segundos [Pa·s]. Esto se puede realizar en forma manual o utilizando un software especial. Si la lectura del torque desplegada por el equipo está fuera del rango para el vástago y velocidad de giro seleccionado, cambie el vástago o la velocidad de ensayo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, considerando las viscosidades que se cree tenga el asfalto en estudio. Reemplace la muestra asfáltica por una nueva.
  - 9.11 Inicie la rotación del vástago durante el periodo de estabilización de la temperatura.
  - 9.12 Después que el asfalto ha alcanzado la temperatura de ensayo especificada y una vez estabilizada, inicie el ensayo.
  - 9.13 Realice **tres lecturas de la viscosidad a intervalos de 1 [min]**.
  - 9.14 Repita el procedimiento para mediciones a otras temperaturas.

## 10 RESULTADOS E INFORME

**10.1** Determine la viscosidad del ligante asfáltico como el promedio de las tres mediciones realizadas. Si la viscosidad está expresada en unidades de centipoise [cP], multiplique por 0,001 para obtener Pascal-Segundos [Pa·s].

**10.2** El informe debe incluir lo siguiente:

- Fecha y hora de ensayo
- Temperatura de ensayo aproximada a 0,1 [°C]
- Velocidad de giro en [rpm]
- Nº de vástago utilizado
- Torque medido, expresado en %
- Promedio de las viscosidades, en [Pa·s].

## 11 REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

**11.1** Precisión: Criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad de este método se entregan en la TABLA 8.302.24. A.

**11.1.1 Precisión para un mismo operador (Repetibilidad):** La figura en la columna 2 de la TABLA 8.302.24. A presenta el coeficiente de variación que ha sido determinado adecuado por las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Dos resultados obtenidos en el mismo laboratorio, por el mismo operador utilizando el mismo equipo, en un periodo de ensayo corto, no debiera ser considerado como sospechoso a menos que la diferencia entre los resultados, expresado en porcentaje de su promedio, excedan los valores entregado en la columna 3 de la TABLA 8.302.24. A.

**11.1.2 Precisión multilaboratorio (Reproducibilidad):** En la columna 2 de la TABLA 8.302.24. A se expresan los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para las condiciones del ensayo descritas en la columna 1. Dos resultados obtenidos por dos diferentes operadores ensayando el mismo material en diferentes laboratorios no será considerado sospechoso a menos que la diferencia entre los dos resultados, expresados como porcentaje de su promedio, exceda el valor entregado en la columna 3 de la TABLA 8.302.24. A.

TABLA 8.302.24. A PRECISIONES ESTIMADAS

| Condición  | Desviación Estándar (1s) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s) <sup>1</sup> |
|--|---------------------------------------|---|
| Precisión de un mismo operador:  |                                       |   |
| Viscosidad promedio [Pa·s]   | 1,2                                   | 3,5   |
| Precisión Multilaboratorio:  |                                       |   |
| Viscosidad promedio [Pa·s]   | 4,3                                   | 12,1  |
| Estos valores representan la 1s% y 2s% límites descritos en ASTM C670. |                                       |   |

**Nota 4:** Las precisiones estimadas dadas en la TABLA 8.302.24. A están basadas en un análisis de resultados de ensayos desde 8 pares de AMRL ejemplos competentes. La información analizada consiste en resultados de 142 a 202 laboratorios para cada 8 pares de muestras. El análisis incluye 5 grados de ligante: PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22, y PG 76-22 (SBS modificado). El rango promedio para viscosidad de ligantes originales obtenido fue de 0,272 a

**0,719 [Pa·s]. Para asfaltos modificados va desde 1,621 a 1,638 [Pa·s]. Los detalles de este análisis están en el reporte final de NCHRP Project No. 9-26, Phase 3.**

**Nota 5: Como ejemplo, dos ensayos llevados a cabo con el mismo material con resultados de viscosidad de 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s], respectivamente. El promedio de estos dos resultados es 0,505 [Pa·s]. El rango de aceptabilidad de los resultados es de 3,5 % de 0,505 [Pa·s] o 0,018 [Pa·s]. Como la diferencia entre 0,500 [Pa·s] y 0,510 [Pa·s] es menor que 0,018 [Pa·s], los resultados están dentro del rango aceptable.**

**11.2 Sesgo.** El sesgo de este ensayo no ha sido determinado.

---

# ANEXO L:

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN MÉTODO  
SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN  
FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS  
TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO  
DE VIGA A FLEXIÓN

## 8.302.25 ASFALTOS: MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA A FLEXIÓN

### 1 ALCANCES Y CAMPO DE APLICACIÓN

- 1.1 Este método cubre la determinación de la rigidez o fluencia en flexión bajo carga constante de ligantes asfálticos, mediante un reómetro de viga de flexión. Es aplicable a materiales con valores de rigidez en flexión entre 20 [MPa] y 1 [GPa] (valores de deformabilidad en flexión de 50 [ $\text{nPa}^{-1}$ ] a 1 [ $\text{nPa}^{-1}$ ]) y puede ser usado con material original o envejecido de acuerdo a 8.302.33 o 8.302.23. El equipo de ensayo está diseñado para operar en un rango de temperatura de **- 36 a 0 [°C]**.
- 1.2 Los resultados obtenidos no son válidos para vigas de ligante asfáltico que se deflecten más de 4 [mm] o menos de 0,08 [mm], cuando se ensayen de acuerdo a esta norma.
- 1.3 Este procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En esta norma no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer medidas apropiadas de seguridad e higiene.
- 1.4 Este procedimiento se basa en AASHTO T313-12, Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).

### 2 REFERENCIAS

- Manual de carreteras:
  - 8.301.8 Asfaltos: especificaciones Superpave.
  - 8.302.23 Asfaltos: método Superpave de envejecimiento acelerado en cámara de envejecimiento a presión.
  - 8.302.1 Asfaltos: métodos de muestreo.
  - 8.302.33 Asfaltos: métodos de ensayo de película delgada rotatoria.
- AASHTO:
  - M 320, Performance-Graded Asphalt Binder.
  - R 28, Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV).
  - R 66, Sampling Asphalt Materials.
  - T 240, Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt Binder (Rolling Thin-Film Oven Test).
  - T 314, Determining the Fracture Properties of Asphalt Binder in Direct Tension (DT).
- ASTM:
  - C802 Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials.
  - D140 Practice for Sampling Bituminous Materials.
  - D2872 Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test).

- D6521 Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV).
- D6373 Specification for Performance Graded Asphalt Binder.
- E77 Test Method for Inspection and Verification of Thermometers.
- DIN (Deutsche Industrie Norm):
  - DIN 43760 termómetro de resistencia platino.

### 3 DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

- 3.1 **Ligante asfáltico:** Cemento asfáltico, producido a partir del residuo de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.
- 3.2 **Endurecimiento físico:** Rigidización tiempo - dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.
- 3.3 **Fluencia en flexión:** Para el propósito de este método, se usa este término para definir cualquier característica del ligante asfáltico que se determina en un ensayo de **fluencia** por flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga  $\delta(t)$ . Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensayo como el descrito, es una propiedad en **fluencia**.
- 3.4 **Rigidez en fluencia por flexión,  $S(t)$ :** Razón entre la máxima tensión de flexión y la deformación máxima de flexión en la viga. **La rigidez en fluencia se puede estimar por ajuste de un polinomio de segundo orden, para el logaritmo de la rigidez medida a 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240,0 [s] y el logaritmo de tiempo.**
- 3.5 **Deformabilidad flexural en fluencia,  $D(t)$ :** Razón entre la máxima deformación de flexión y la máxima tensión de flexión en la viga.  $D(t)$  es el inverso de  $S(t)$ .  $S(t)$  ha sido usado históricamente en la tecnología del asfalto donde  $D(t)$  es comúnmente usado en estudios de viscoelasticidad.
- 3.6 **Valor-m:** Valor absoluto de la pendiente de la curva del logaritmo de la curva de rigidez versus el logaritmo del tiempo.
- 3.7 **Carga de contacto:** Carga requerida para mantener contacto positivo entre la viga y la columna de carga, corresponde a  $35 \pm 10$  [mN].
- 3.8 **Carga de asentamiento:** Carga de 1 [s] de duración requerida para asentar la viga;  $980 \pm 50$  [mN].
- 3.9 **Carga de ensayo:** Carga de 240 [s] de duración requerida para determinar la rigidez del material ensayado  $980 \pm 50$  [mN].
- 3.10 **Tiempo cero de ensayo:** Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo).
- 3.11 **Lectura inicial de la carga inicial:** **Carga indicada por el dispositivo, cuando el vástago se encuentra flotando libremente en el baño líquido en la posición que queda cuando se realiza el primer contacto con la probeta de ensayo.**

#### 4 RESUMEN DEL MÉTODO

- 4.1 El reómetro de viga de flexión mide la deflexión en el punto medio de una viga de ligante asfáltico simplemente apoyada, sometida a carga constante aplicada en su punto medio. El dispositivo opera sólo en el modo de carga, es decir, no se obtienen mediciones de recuperación.
- 4.2 Se coloca una viga de ensayo en un baño líquido a temperatura controlada y se somete a carga constante por 240 [s]. La carga de ensayo ( $980 \pm 50$  [mN]) y la deflexión del punto medio de la viga se registran usando un sistema computarizado de monitoreo durante el ensayo.
- 4.3 La tensión máxima de flexión en el punto medio de la viga se calcula a partir de las dimensiones de la viga, la luz (distancia entre apoyos) y la carga aplicada a la viga, a intervalos de tiempo (8, 15, 30, 60, 120 y 240 [s]). La máxima deformación unitaria de flexión en la viga se calcula para los mismos intervalos de tiempo de carga, a partir de las dimensiones y la deflexión de la viga. La rigidez de la viga para los tiempos de carga especificados se calcula dividiendo la tensión máxima por la deformación unitaria máxima.
- 4.4 Para verificar que la carga completa de ensayo ( $980 \pm 50$  [mN]) se aplica dentro de los primeros 0,5 [s], se informa la carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 [s]. Estos datos no se usan en el cálculo de la rigidez ni del “valor m” y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo en que se aplica la carga total de ensayo puede verse afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, presión de aire inapropiada, malfuncionamiento de los sistemas de aire (esticción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0,0 y 0,5 [s], el usuario de los resultados del ensayo puede determinar las condiciones de carga.

**Nota 1:** La esticción puede ser comprobada colocando una carga de 3 [g] o menos sobre el vástago de carga en la posición de flotación, y observando que el vástago se mueva cuando se aplique la carga.

#### 5 SIGNIFICADO Y USO

- 5.1 La temperatura de ensayo está relacionada con las temperaturas experimentadas por el pavimento en el área geográfica en el cual el ligante asfáltico se considera instalar.
- 5.2 La rigidez o la deformabilidad flexural en fluencia, determinados a partir de este ensayo, describe la respuesta tensión-deformación-tiempo de ligantes asfálticos a bajas temperaturas, a la temperatura de ensayo, dentro del rango de respuesta viscoelástica lineal.
- 5.3 La resistencia de mezclas asfálticas al agrietamiento térmico a bajas temperaturas, está relacionada con la rigidez en fluencia y el “valor m” (pendiente de la curva del logaritmo de la rigidez en fluencia en función del logaritmo del tiempo de carga), para el ligante asfáltico contenido en la mezcla.
- 5.4 La rigidez en fluencia por flexión y el “valor m” se usan como criterio de especificación basado en el desempeño de ligantes asfálticos, de acuerdo a la Especificación 8.301.8.

## 6 INTERFERENCIAS

- 6.1 **Deflexiones mayores a 4,0 [mm] en el punto medio de la probeta son sospechosas debido a que exceden la respuesta lineal del ligante asfáltico.**
- 6.2 **Deflexiones menores a 0,08 [mm] en el punto medio de la probeta son sospechosas. Cuando esto sucede puede ser que la resolución del sistema no sea suficiente para entregar resultados fiables.**

## 7 APARATOS

7.1 **Sistema de ensayo reómetro de viga a flexión (BBR):** El sistema de ensayo reómetro de viga de flexión consiste en:

- Un marco de carga que permita que la viga de ensayo, soportes y la parte inferior del marco de ensayo, sean sumergidos en un baño líquido a temperatura constante,
- Un baño líquido a temperatura controlada que permita mantener la viga de asfalto a la temperatura de ensayo y provea de una fuerza capaz de contrarrestar la fuerza resultante de la masa de la viga,
- Un componente de registro de datos controlado automáticamente por un computador,
- Moldes de la probeta,
- Ítems para verificar y calibrar el sistema.

7.1.1 **Marco de carga:** El marco de carga consiste en soportes para la muestra, un vástago de punta redondeada que aplique la carga en el punto medio de la probeta, una celda de carga montada en el vástago, instrumentos para colocar la carga cero sobre la probeta, instrumentos para aplicar carga constante al vástago de carga y un transductor medidor de deflexión adosado al vástago. La lámina 8.302.25. A muestra un esquema del dispositivo.

7.1.1.1 **Sistema de carga:** Capaz de aplicar una carga de contacto de  $35 \pm 10$  [mN] a la viga de ensayo y mantener un carga de ensayo de  $980 \pm 50$  [mN].

7.1.1.2 **Requerimientos del sistema de carga:** El tiempo para alcanzar la carga de ensayo ( $980 \pm 50$  [mN]) a partir de la carga de contacto ( $35 \pm 10$  [mN]) será menor a 0,5 [s]. Durante este periodo, el sistema deberá amortiguar la carga de ensayo. Entre 0,5 a 5 [s], la carga de ensayo estará dentro de  $\pm 50$  [mN] del promedio de esta carga y luego será dentro de  $\pm 10$  [mN].

7.1.1.3 **Apoyos para la viga:** Apoyos transversales para la viga de asfalto, consisten en una base y un soporte horizontal con una superficie superior curva de radio  $3,0 \pm 0,3$  [mm] y costados inclinados en un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal (véase Lámina 8.302.25. A). Los apoyos, hechos de acero inoxidable (u otro material resistente a la corrosión), deben estar separados  $102,0 \pm 1$  [mm] entre sí.

***La distancia entre los soportes se medirá con una precisión de  $\pm 0,3$  [mm] y la distancia exacta deberá ser usada para los cálculos de la Anexo B. Los soportes estarán dimensionadas para asegurar que la muestra de prueba permanece en contacto con la parte redondeada del soporte durante todo el ensayo (véase Lámina 8.302.25. A).***

El ancho útil del soporte será de  $9,5 \pm 0,25$  [mm]. Esto se requiere para asegurar que los bordes de la viga, resultantes del proceso de moldeado, no interfieran con la medición de la deflexión durante el ensayo. Además, los apoyos deben incluir chavetas de alineamiento de **2 a 4 [mm]** de diámetro, a  $6,75 \pm 0,25$  [mm] desde el centro de los apoyos. Las chavetas deben ser colocadas sobre el lado posterior de los apoyos para alinear la probeta en el centro de dichos apoyos. Ver detalles en Lámina 8.302.25. A.

- 7.1.1.4 Vástago de carga:** Vástago de punta redondeada, con superficie de contacto esférica, de radio  $6,25 \pm 0,25$  [mm], continua con una celda de carga y un transductor medidor de deflexión, capaz de aplicar una carga de contacto de  $35 \pm 10$  [mN] y mantener una carga de ensayo de  $980 \pm 50$  [mN], constante dentro de  **$\pm 50$  [mN]**, usando presión diferencial de aire u otro medio para tal ajuste como, por ejemplo, un sistema electro hidráulico.
- 7.1.1.5 Celda de carga:** Celda de carga con una capacidad mínima de 2.000 [mN], y una resolución mínima de 2,5 [mN], montada en línea con el vástago de carga y por encima del baño líquido, para medir la carga de contacto y la carga de ensayo.
- 7.1.1.6 Transductor diferencial variable lineal (LVDT):** Un transductor diferencial variable lineal u otro dispositivo montado axialmente sobre el vástago de carga, capaz de registrar un movimiento lineal menor o igual a 2,5 [ $\mu$ m], con un rango de al menos 6 [mm] para medir la deflexión en la viga.
- 7.1.2 Baño líquido de temperatura controlada:** ***Capaz de mantener la temperatura en todos los puntos dentro del baño entre  $-36$  y  $0$  [°C], con un margen de  $\pm 0,1$  [°C]. La colocación de una probeta fría en el baño puede causar una fluctuación de la temperatura en  $\pm 0,2$  [°C] de la determinada para el ensayo bajo condiciones isotérmicas.***
- 7.1.2.1 Agitador:** Un agitador para mantener la temperatura homogénea, con una intensidad de agitación tal que las corrientes en el fluido no perturben el proceso de ensayo, ni provoque vibraciones que produzcan variaciones en las lecturas mayores a las especificadas de 7.1.2.2 y 7.1.3.1
- 7.1.2.2 Circulador (opcional):** Unidad circuladora de fluido, separada del marco de ensayo, la cual bombea el fluido a través del baño. Si se emplea, las vibraciones producidas por el equipo deben ser aisladas de la cámara del baño, de manera que su efecto en los registros sea menor que lo indicado en 7.1.2.2 y 7.1.3.1.
- 7.1.3 Sistema de adquisición de datos:** Sistema que registre la carga con una precisión de 2,5 [mN], la deflexión de la viga con precisión de 2,5 [ $\mu$ m], y la temperatura del baño líquido con una precisión de 0,1 [°C]. El sistema debe detectar el momento en el cual se envía la señal a la válvula(s) solenoide para

cambiar el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo). Ese instante es el tiempo cero del ensayo. Usando este instante como referencia, el sistema debe registrar las medidas de carga y deflexión relativas a partir del tiempo cero. El sistema debe registrar la carga y deflexión a los 0,0; 0,5; 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 [s]. Cada registro será el promedio de tres o más lecturas tomadas dentro de  $\pm 0,2$  [s] del tiempo especificado de registro. Por ejemplo, se mide para un tiempo de carga de 7,8; 7,9; 8,0; 8,1 y 8,2 [s].

**7.1.3.1 Filtro digital o análogo:** Se puede requerir el filtrado digital o análogo de los datos de deflexión y carga para eliminar el ruido electrónico que, de lo contrario, podría afectar la capacidad de la polinomial de segundo orden para calzar los datos con suficiente exactitud como para obtener una estimación confiable del “valor-m”. Las señales de carga y deflexión pueden ser filtradas con un filtro digital o análogo de bajo paso, que remueva las señales de frecuencia mayor que 4 [Hz]. El promedio deberá ser obtenido en un período menor o igual que  $\pm 0,2$  [s] con respecto al tiempo especificado de registro.

**7.2 Equipo de medición de la temperatura:** Transductor de temperatura calibrado, capaz de medir temperaturas con una precisión de 0,1 [°C] en el rango de - 36 a 0[°C]. Debe ir montado dentro de los 50 [mm] del punto medio de los apoyos de la probeta.

**Nota 2:** La medición de temperatura puede ser llevada a cabo con un termómetro de resistencia de platino (RTD) o con un termistor calibrado apropiadamente. La calibración del RTD o termistor puede ser verificada como se indica en 7.6. Se recomienda el uso de RTD bajo estándar DIN 43760 (Clase A). Para obtener la exactitud y precisión requeridas es necesario que cada RTD sea calibrado como un sistema, con su respectivo medidor o circuito electrónico.

**7.3 Moldes para la viga de ensayo:** Moldes para producir vigas de asfalto cuyas dimensiones, una vez desmoldadas, sean de  $6,35 \pm 0,1$  [mm] de espesor por  $12,70 \pm 0,25$  [mm] de ancho y ***127  $\pm$  5 [mm] de largo***. Los moldes serán fabricados de aluminio liso, en las dimensiones indicadas en la Lámina 8.302.25. **B ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**7.3.1** El espesor de los dos espaciadores utilizados para cada molde (pequeño piezas de los extremos utilizados en los moldes metálicos) serán medidos con un micrómetro y su espesor no debe variar en más de 0,05 [mm] entre ellas.

**Nota 3:** Pequeños errores en el espesor de las probetas pueden tener grandes efectos en el cálculo del módulo, debido a que el módulo se obtiene en función del espesor, h, elevado a tercera potencia.

**7.4 Aparatos para la calibración o verificación**

**7.4.1 Vigas de acero inoxidable (gruesa):** Para el sistema de medición de deformación y calibración de la celda de carga, una viga de acero inoxidable de  $6,4 \pm 0,10$  [mm] de espesor por  $12,7 \pm 0,25$  [mm] de ancho y  $127 \pm 5,0$  [mm] de largo para el sistema de medición de deformación.

**7.4.2 Vigas de acero inoxidable (delgada):** Para comprobar periódicamente el desempeño del BBR se utiliza una viga de acero inoxidable de  $1,3 \pm 0,3$  [mm] de espesor por  $12,7 \pm 0,1$  [mm] de ancho, medidos al  $\pm 0,01$  [mm],

*por  $127 \pm 5,0$  [mm] de largo medidos al  $\pm 1$  [mm], con módulo elástico conocido y con tres cifras significativas (especificado por el fabricante). El fabricante medirá e informará el espesor con una precisión de  $\pm 0,01$  [mm] y el ancho con  $0,05$  [mm]. Las dimensiones de la viga será utilizada para calcular el módulo de la viga durante la comprobación general del sistema. Véase la sección 0.*

**7.5 Masas estándares:** Una o más masas estándares son requeridas, detalladas a continuación:

**7.5.1 Verificación de la calibración de la celda de carga:** Una o más masas que sumen  $100 \pm 0,2$  [g] y dos masas de  $2 \pm 0,2$  [g] cada una (véase 0) para verificar la calibración de la celda de carga.

**Nota 4:** Se puede utilizar cualquier objeto adecuado si se confirma que su masa corresponde a  $2 \pm 0,2$  [g].

**7.5.2 Calibración celda de carga:** Cuatro masas, cada una de masa conocida  $\pm 0,2$  [g] e igualmente espaciadas en masa por encima del rango de la celda de carga.

**7.5.3 Chequeo cotidiano del sistema global:** Dos o más masas, cada una de masa conocida de  $0,2$  [g], para realizar el chequeo global del sistema como lo especifica el fabricante.

**7.5.4 Exactitud de las masas:** La exactitud indicada en esta sección debe ser verificada por lo menos una vez cada tres años.

**7.6 Termómetro calibrado:** Termómetros de mercurio calibrados, para la verificación del transductor de temperatura con un rango adecuado y subdivisiones de  $0,1$  [°C]. Serán de inmersión parcial con un punto de hielo y **calibrados de acuerdo a ASTM E77 al menos una vez al año**. El termómetro 133C es adecuado. Se puede utilizar un termómetro electrónico de igual precisión y resolución.

**7.7 Medidor de espesor:** Un medidor de espesores escalonados, para verificar las calibraciones del transductor de desplazamiento, como describe la Lámina 8.302.25.C.

**7.8 Dispositivo de alineación (opcional):** Accesorio suministrado por el fabricante para fijar el eje del vástago de carga, para que la carga sea aplicada en el centro transversal y longitudinal de la viga de ensayo.

## 8 MATERIALES

**8.1 Láminas plásticas para moldes metálicos:** Plástico laminado limpio, de  $0,12 \pm 0,04$  milímetros de espesor, para revestir las tres caras interiores más grandes del molde de aluminio. Las láminas no deben ser deformadas por el ligante asfáltico caliente. Las transparencias para impresora láser han dado resultados adecuados.

**8.2 Grasa a base de petróleo:** Grasa basada en petróleo para adherir las láminas plásticas a las caras interiores del molde. No se deben usar productos a base de silicona.

**8.3 Mezcla Glicerol-Talco:** Lubricante usado como desmoldante para revestir las piezas extremas de los moldes de aluminio. Para este propósito, se puede utilizar

una mezcla de **50 % en peso de glicerina grado USP y 50 % de talco** grado USP o caolín (arcilla para loza china).

- 8.4 Fluido para el baño térmico:** Un fluido que no sea absorbido por el ligante asfáltico y que no afecte sus propiedades. La densidad del fluido no debe exceder  $1,05 \text{ [g/cm}^3\text{]}$  en el rango de temperaturas de ensayo. El fluido debe ser transparente para el rango de temperaturas de ensayo. Se considera que fluidos como el etanol, **isopropanol estabilizado**, metanol M y mezclas de glicolmetanol (por ejemplo, 60 % glicol, 15 % de metanol y 25 % de agua) son adecuados. **Fluidos de silicona o mezclas que contengan silicona no podrán ser utilizadas.**

## 9 PELIGROS

- 9.1 Se debe observar los procedimientos de seguridad estandarizados para la manipulación del ligante asfáltico y preparación de las probetas de prueba.**
- 9.2 Los baños de alcohol son inflamables y tóxicos. Coloque el controlador de temperatura del baño en un área ventilada y lejos de fuentes de inflamación. Evitar la inhalación del vapor de alcohol, y el contacto del fluido con la piel.**
- 9.3 El contacto entre el líquido del baño a bajas temperaturas con la piel puede causar quemaduras.**

## 10 PREPARACIÓN DE LOS APARATOS

- 10.1** Limpie los apoyos, la cabeza de carga y el baño líquido; retire cualquier partícula o revestimiento.

**Nota 5:** Debido a la fragilidad del ligante asfáltico a las temperaturas que se realiza este ensayo, es posible que en el baño líquido se encuentren pequeños fragmentos de ligantes. Si estos fragmentos se ubican en los apoyos o en la cabeza de carga, se afectará la medición de deflexión. Los fragmentos pequeños, debido a su tamaño, se deformarán al ser cargados y agregarán una deflexión aparente a la viga. El uso de filtros puede ayudar a preservar los requerimientos de limpieza del baño.

- 10.2** Seleccione la temperatura de ensayo y ajuste el baño líquido a la temperatura seleccionada. Espere hasta que la temperatura se estabilice y luego permita el equilibrio del baño a la temperatura de ensayo  $\pm 0,1 \text{ [}^\circ\text{C]}$ .
- 10.3** Active el sistema de adquisición de datos y cargue el software como se explica en el manual del fabricante para el sistema de ensayo.

## 11 ESTANDARIZACIÓN

- 11.1 Verificación:** Verifique la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura, tal como se describe en 11.1 y 11.4. Verificaciones adicionales se realizarán de acuerdo al fabricante. Procedimientos de calibración están descritos en el anexo A. Realice cada paso de esta sección cada día antes de realizar un ensayo. Como opción del fabricante, los procedimientos de verificación y calibración se pueden combinar.

- 11.1.1 Verificación del transductor de desplazamiento:** Cada día verifique la

calibración del transductor de desplazamiento usando un calibrador de espesor escalonado, de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la LÁMINA 8.302.25. C. **Con el marco de carga montado en el baño líquido a la temperatura de ensayo, remover todas las vigas de los soportes** y colocar el calibrador de espesor escalonado a los pies del vástago de acuerdo a las instrucciones del fabricante. **Aplicar una masa  $100 \pm 0,2$  gramos al vástago de carga** y mida la elevación de los escalones con el transductor de desplazamiento. **Comparar las mediciones indicadas por el sistema de adquisición de datos con la dimensión conocida del calibrador de espesor escalonado.** Si las mediciones varían más de  $\pm 5$  [ $\mu\text{m}$ ] con respecto a las dimensiones especificadas por el fabricante, se requerirá una mantención o calibración adicional. Informe la constante de calibración [ $\mu\text{m}/\text{bit}$ ] para el transductor de desplazamiento con 3 cifras significativas. Las constantes de calibración deben ser repetibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será sospechosa.

#### 11.1.2 Verificación del contacto de la celda de carga:

**11.1.2.1 Carga de contacto: Diariamente, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de contacto. Colocar la viga de acero inoxidable (viga del sistema de medición de deformabilidad) de  $6,4$  [mm] de espesor (sección 0) sobre los apoyos. Aplicar una carga de  $20 \pm 10$  [mN] a la viga y utilizar para ello el regulador de presión para la carga cero. Agregar la masa de  $2,0 \pm 0,2$  [g] a la plataforma de carga especificado en la sección 0. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser  $20 \pm 5$  [mN]. Si el aumento en la carga no es de  $20 \pm 5$  [mN], se requiere una calibración. Si no se pueden reunir los requisitos para la carga de contacto después de la calibración, discontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.**

**11.1.2.2 Carga de ensayo: Cada día, antes de realizar el ensayo, verificar la calibración de la celda de carga en el rango de carga de ensayo. Colocar la viga de acero inoxidable (para desplazamiento) de  $6,4$  [mm] de espesor (sección 0) en los apoyos. Utilizar la carga cero regulada (carga de contacto) para aplicar la carga de  $20 \pm 10$  [mN] a la viga. Agregar una masa de  $100$  [g] a la plataforma de carga. El aumento de carga desplegada por el sistema de adquisición de datos debe ser de  $981 \pm 5$  [mN]. De lo contrario, calibrar la celda de carga. Si los requisitos para la carga de ensayo no se pueden cumplir después de la calibración, se debe discontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.**

**11.1.3 Verificación de la calibración del detector de temperatura:** Verifique la calibración del detector de temperatura por medio de un termómetro calibrado de rango adecuado, que cumpla los requerimientos de 7.6. Sumerja el termómetro en el baño líquido, próximo al detector térmico, y compare la temperatura indicada por el termómetro calibrado con la que despliega el detector. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con la indicada por el termómetro de mercurio dentro de  $\pm 0,1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], aplique una corrección apropiada a la medida indicada por el detector de temperatura, o realice un mantenimiento o calibración adicional.

**11.2 Operación libre del sistema de presión de aire:** *En cada día de prueba se debe verificar antes de realizar el ensayo si el sistema de presión de aire se encuentra operando libremente y libre de fricción. Las Secciones 0 y 0 se usaran para verificar que el shaft está libre de fricción. Si los requisitos de estas secciones no se cumplen, existe fricción en la presión de aire. Limpiar el shaft y ajustar el espacio libre en el transductor según las instrucciones del fabricante. Si esto no elimina la fricción, descontinuar el uso del BBR y consultar al fabricante.*

**Nota 6:** *La fricción puede ser causada por un ajuste deficiente, el cual deja un desplazamiento en el centro del transductor, que permite una acumulación de ligante asfáltico en el eje de carga, junto al aceite u otras partículas que son llevadas por el aire, entre otras causas.*

**11.2.1** *Se coloca la viga delgada de acero, utilizada para el cero regulador de carga, en los apoyos de la muestra, y aplicar una carga de  $35 \pm 10$  [mN]. Se observa la lectura del LVDT como es indicado en el sistema de adquisición de datos. Agarrar suavemente el vástago y levantarlo aproximadamente 5 [mm] observando la lectura del LVDT. Cuando el vástago se suelta, inmediatamente debe sufrir un leve desplazamiento y hacer el contacto con la viga.*

**11.2.2** *Remover cualquier viga de los apoyos. Se usa el cero el regulador de carga para ajustar el vástago de carga hasta que se esté desplazando libremente aproximadamente en el punto medio de sus eje vertical. Suavemente se adicionan 2 [g] de masa al estante cargante. El vástago debe descender suavemente bajo la masa.*

**11.3 Sistema de chequeo general diario:** *Cada día, antes de realizar las pruebas y con el marco de carga montado en el baño líquido, realizar el chequeo del funcionamiento global del sistema. Colocar la viga delgada de acero inoxidable de módulo conocido de  $1,3 \pm 0,3$  [mm] de espesor, en los apoyos de la muestra cómo se describe en la sección 0. **Siguiendo las recomendaciones del fabricante se coloca la viga en los soportes y aplica una masa inicial de 50,0 o  $100,0 \pm 0,2$  [g] ( $491$  o  $981 \pm 2$  [mN]) a la viga. Asegurar que la viga se asiente completamente en los apoyos. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar una segunda carga adicional de  $100,0$  a  $300,0 \pm 0,2$  [g] a la viga.** El software proporcionado por el fabricante usará cambios de carga y cambios asociados de deflexión para calcular el módulo de la viga con **tres cifras significativas**. El módulo reportado por el software deberá estar dentro de 10 % del módulo informado por el fabricante de la viga, de lo contrario, el funcionamiento global del BBR será considerado sospechoso y se deberá consultar al fabricante.*

**11.4 Alineación del eje de carga:** *Cada seis meses, se debe verificar la alineación del vástago de carga con el centro de la muestra apoyada con un calibrador de alineación proporcionado por el fabricante o por la siguiente medición: Se corta una tira de papel blanco de aproximadamente 25 [mm] de longitud y ligeramente más estrecha que la viga de deformación. Se pega la tira de papel al centro de la viga de deformación con cinta adhesiva. Sacar el marco de carga desde el baño, colocar la viga de calibración en los apoyos y luego un pedazo pequeño de papel calco*

*sobre la hoja blanca. Aplicando aire a presión al soporte, empujar el vástago hacia abajo causando la impresión del papel calco en el papel blanco. Remueva la viga y mida la distancia desde el centro de la impresión a cada borde de la viga con un micrómetro. La diferencia entre las dos medidas debe ser 1,0 [mm] o menor. Si este requisito no se cumple, contactar al fabricante del dispositivo.*

## 12 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

**12.1** *Para preparar los moldes de acero inoxidable: Eliminar los depósitos de ligante asfáltico, grasa u otros residuos de los moldes. Realizar una inspección visual de los componentes del molde metálico para verificar que estén libres de abolladuras, cortes o esquirlas que afecten la separación de las placas laterales y rechazar aquellos componentes con golpes, cortes y esquirlas. Extender una capa muy delgada de grasa (basada en petróleo), sólo lo suficiente para sostener el plástico al molde, sobre las caras interiores de las tres piezas más largas del molde de aluminio (las tiras que se deforman por calentamiento previo no se utilizarán). Colocar las láminas sobre las caras de las piezas de aluminio y presione firmemente la lámina con ayuda de los dedos. Ensamblar el molde como lo muestra la Lámina 8.302.25.B, usando los anillos de goma, tipo ligas, para sostener las piezas del molde juntas. Inspeccionar el molde y presione la película plástica contra el aluminio para expulsar cualquier burbuja de aire. Si persisten burbujas de aire, desarme el molde y reaplique grasa sobre las caras de aluminio. Cubrir las caras interiores de las dos piezas extremas con una película delgada de la mezcla de glicerol con talco, para prevenir que el ligante asfáltico se adhiera. Una vez ensamblados los moldes, almacénelos a temperatura ambiente.*

**Nota 7:** El espesor de la probeta está controlado por las piezas extremas. El espesor de las piezas extremas se debe medir periódicamente para asegurar que cumplen los requerimientos de 7.3. La rigidez es proporcional a la tercera potencia del espesor.

**12.2** Si se ensaya asfalto original, obtenga muestras de ensayo según Método 8.302.1.

**12.3** Si el asfalto también ha sido ensayado de acuerdo a T314 (Ensayo de tracción directa), y acondicionada según 8.302.33 (HPDR) y 8.302.23 (PAV), desgasificar el asfalto como se describe en 8.302.23 antes de ensayar. De otra manera, desgasificar la muestra no es necesario.

**12.4** *Caliente el material en un horno a la mínima temperatura y por el menor tiempo que permita alcanzar una fluidez suficiente para ser vertido.*

**Nota 8:** Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). En todos los casos el tiempo de calentamiento será el mínimo posible. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento oxidativo y la pérdida de volátiles que endurecerán aún más la muestra asfáltica. Durante el proceso de calentamiento la muestra será cubierta y agitada ocasionalmente para asegurar homogeneidad.

**12.5** *Llenado de moldes metálicos (acero inoxidable):* Llene el molde con asfalto,

vertiéndolo desde un extremo del molde hacia el otro, sobrellenándolo ligeramente. Al verter, mantenga el frasco con la muestra 20 a 100 [mm] por encima de la parte superior del molde, y vierta continuamente hacia el otro extremo en un solo paso. Deje enfriar 45 a 60 [min] a temperatura ambiente, a continuación enrase la superficie de asfalto de la cara de llenado, usando un cuchillo o espátula caliente. Retire el plástico laminado (revestimiento del molde) si éste se ha distorsionado.

- 12.6 Previamente al ensayo almacene todas las muestras en sus moldes a temperatura ambiente. Planifique el ensayo de tal manera que se realice dentro de 4 [h] desde el llenado de los moldes.

**Nota 9:** Los incrementos tiempo-dependientes de la rigidez pueden ocurrir cuando los ligantes son almacenados a temperatura ambiente, incluso por cortos períodos de tiempo. Este incremento de la rigidez es el resultado de asociaciones moleculares y en la literatura se le denomina endurecimiento estérico.

- 12.7 Inmediatamente antes de realizar el ensayo, enfríe el molde de aluminio con asfalto en un congelador o baño de hielo a  $-5 \pm 7$  [°C] durante 5 a 10 [min], sólo lo suficiente para rigidizar la viga de ligante asfáltico, de modo que pueda ser desmoldada con facilidad y sin distorsionarse (véase Nota 10:). Algunos grados más blandos pueden requerir temperaturas más bajas. No enfríe los moldes con las muestras en el baño de ensayo, debido a que pueden producirse fluctuaciones de temperatura en el baño que excedan los  $\pm 0,2$  [°C].

**Nota 10:** El enfriamiento excesivo puede causar un endurecimiento no deseado de la viga, lo que ocasiona un incremento en la variabilidad de los datos del ensayo.

- 12.8 Inmediatamente desmolde la probeta, cuando esté lo suficientemente rígida como para ser desmoldada sin que se produzcan distorsiones al desarmar el molde.

**Nota 11:** *Minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. Para evitar la distorsión de la muestra, desmoldar la probeta deslizando las tiras de plástico y piezas laterales de metal desde el conjunto de molde y suavemente quitar las tiras de plástico de la muestra de ensayo. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real.*

### 13 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

- 13.1 Al ensayar una probeta para verificar el grado de desempeño, seleccione la temperatura de ensayo adecuada usando la Tabla 8.301.8.A de la Especificación 8.301.8. Después de desmoldar, coloque inmediatamente la probeta de ensayo en el baño, y acondiciónelo a la temperatura de ensayo por  $60 \pm 5$  [min].

**Nota 12:** Los ligantes asfálticos pueden endurecer rápidamente cuando se mantienen a bajas temperaturas. Este efecto, llamado endurecimiento físico, es reversible cuando el ligante asfáltico es calentado a temperatura ambiente o ligeramente superior. Por ello, el tiempo de acondicionamiento debe ser cuidadosamente controlado si se desean obtener resultados repetibles.

- 13.2 **Chequear la carga de contacto y ensayo:** *Chequear el ajuste de la carga de contacto y carga de ensayo con anterioridad al ensayo para cada juego de*

**probetas. Se usará la viga de acero inoxidable de espesor 6,35 [mm] para chequear las cargas.**

**Nota 13: No realice esta verificación con una viga más delgada o una probeta.**

**13.2.1 Colocar la viga de acero más gruesa en la posición de la viga. Usando la válvula reguladora de la carga de ensayo, suavemente suba la fuerza aplicada hasta  $980 \pm 50$  [mN].**

**13.2.2 Cambiar la carga de prueba a la carga de contacto y se ajustar la fuerza en la viga a  $35 \pm 10$  [mN]. Cambiar la carga de prueba y la de contacto cuatro veces.**

**13.2.3 Cuando se esté cambiando entre la carga de prueba y la carga de contacto, mirar el eje y la plataforma de carga para ver el movimiento vertical. El eje de carga deberá mantener el contacto con la viga de acero durante el cambio, mientras se mantienen estas cargas a  $35 \pm 10$ [mN] y  $980 \pm 50$  [mN], respectivamente.**

**13.2.4 Acción correctiva: Si los requisitos de las Secciones 13.2.1 a 13.2.2 no se reúnen, los dispositivos pueden requerir calibración según recomendaciones del fabricante o porque el eje de carga puede estar sucio o desalineado (véase sección 0). Si los requisitos de las Secciones 13.2.1 a 13.2.2 no pueden ser cumplidos después de la calibración, de la limpieza, o de otra acción correctiva, descartar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.**

**13.3** Ingrese la siguiente información en el computador que controla el sistema de ensayo: identificación de la probeta, carga de ensayo, temperatura de ensayo, tiempo en que la probeta se ubica en el baño a la temperatura de ensayo y cualquier otra información apropiada.

**13.4 Manualmente aplique una carga de contacto de  $35 \pm 10$  [mN] a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga, el vástago de carga, por no más de 10 [s]. La carga de contacto determinada es requerida para asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, soportes y probeta. La falta de contacto continuo dentro del rango requerido entrega datos engañosos. La carga de contacto se aplicará suavemente aumentando la carga hasta  $35 \pm 10$  [mN]. Durante la aplicación de la carga de contacto, la carga de la viga no debe exceder los 45 [mN], y el tiempo de aplicación y ajuste de la carga de contacto no debe ser superior a 10 [s].**

**13.5** Active el sistema automático de ensayo, el cual está programado para proceder como se indica a continuación.

**13.5.1** Inmediatamente después de la carga de contacto aumente la carga a la carga de asentamiento de  $980 \pm 50$  [mN] durante  $1,0 \pm 0,1$  [s].

**Nota 14:** Las cargas de asentamiento descritas en 13.5.1 y 13.5.2 son aplicadas y removidas automáticamente por el sistema controlador de carga y son independientes del operador. Los datos no son registrados durante la carga inicial.

**13.5.2** Reduzca la carga a  $35 \pm 10$  [mN] y permita a la viga recuperarse por  $20,0 \pm 0,1$  [s].

**13.5.3** Aplique carga de ensayo como se especifica en la sección 7.1.1.2.

**Nota 15:** La carga actual que actúa sobre la viga, medida en la celda de carga, es

usada en el cálculo de la tensión en la viga. Tanto la carga de ensayo como la carga de asentamiento de  $980 \pm 50$  [mN], incluyen la precarga de  $35 \pm 10$  [mN].

**13.5.4** Retire la carga al finalizar el ensayo.

**13.5.5** Al final de la carga de asentamiento inicial y al final del ensayo, revise la pantalla del computador para verificar que la carga en la viga en cada caso retorne  $35 \pm 10$  [mN]. ***Si la viga no retorna, la prueba no es válida y el reómetro se debe recalibrar.***

**13.6** Retire la probeta de los apoyos y proceda con el siguiente ensayo.

## 14 CÁLCULO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Véase Anexo.

## 15 INFORME

**15.1** Entregue la información tal como se muestra en la tabla de la Lámina LÁMINA 8.302.25. D que describe un ensayo individual, incluyendo:

- Temperatura máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 [s] del ensayo, a intervalos de 1,0 [s] y con precisión de 0,1 [°C]
- Fecha y hora en que se aplica la carga de ensayo
- Nombre del archivo con los datos del ensayo
- Nombre del operador
- Número de identificación de la muestra
- Hora en que la viga se introduce en el baño
- Hora de inicio del ensayo
- Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensayo
- Coeficiente de correlación,  $R^2$ , para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0,000001
- Otros comentarios (máximo 256 caracteres)
- Informe constantes A, B y C con 3 cifras significativas
- Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como:  $100 \% \times (\text{estimada} - \text{medida}) / \text{medida}$ .

**15.2** Informe carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 [s].

**15.3** Presente la información que se indica en la tabla de la Lámina LÁMINA 8.302.25. D Resultados, a los 8, 15, 30, 60, 120, y 240 [s], incluyendo:

- Tiempo de carga, aproximando a 0,1 [s]
- Carga, aproximada a 1,0 [mN] 0,1 [g]
- Deflexión de la viga, aproximada a 1 [ $\mu\text{m}$ ]
- Módulo de rigidez medido, en [MPa], con 3 cifras significativas
- Módulo de rigidez estimado, en [MPa], con 3 cifras significativas
- Diferencia entre módulo de rigidez medido y estimado (%)
- “Valor-m” estimado, aproximado a 0,001
- Coeficientes de Regresión y ajuste de mínimos cuadrados, valor  $R^2$ .

## 16 PRECISIÓN Y SESGO

**16.1 Precisión:** El criterio para juzgar la aceptabilidad de la rigidez y pendiente de rigidez en fluencia obtenidos con este método se muestra en la Tabla 8.302.25.A. Los valores de la columna 2 de la Tabla 8.302.25.A son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones descritas en la columna 1.

**Nota 16:** Los valores estimados de precisión presentados en la Tabla 8.302.25.A, se basan en el análisis de una serie limitada de resultados de diversos laboratorios. El análisis incluyó los siguientes grados asfálticos: PG 64-28, PG 52-34, PG 76-22 y PG 64-22.

**16.1.1 Precisión de un mismo operador (Repetibilidad):** Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados duplicados, expresada como porcentaje del promedio, exceda los valores dados en la Tabla 8.302.25.A, columna 3.

**16.1.2 Precisión Multilaboratorio (Reproducibilidad):** Dos resultados referidos por 2 operadores diferentes ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia de los resultados, expresado como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la TABLA 8.302.25. A, columna 3.

**TABLA 8.302.25. A  
PRECISIÓN ESTIMADA**

| Condición   | Coefficiente de variación (1s %) <sup>1</sup> | Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s %) <sup>1</sup> |
|---|---|---|
| Precisión de un mismo operador:   |   |   |
| Rigidez en fluencia [MPa]   | 2,5   | 7,2   |
| Valor-m   | 1   | 2,9   |
| Precisión Multilaboratorio:   |   |   |
| Rigidez en fluencia [MPa]   | 6,3   | 17,8  |
| Valor-m   | 2,4   | 6,8   |
| Estos valores representan los límites 1s% y d2s% descritos en la especificación ASTM C670 |   |   |

**Nota 17:** *Consiste en los resultados de 174 a 196 laboratorios para cada uno de los 8 pares de ejemplos. El análisis incluye 5 grados de ligante PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22 y PG 76-22 (SBS modificado). El promedio de la rigidez en fluencia resultante va desde 125,4 [MPa] a 236,8 [MPa]. El promedio de la pendiente resulta en un rango del valor-m de 0,308 a 0,374. El detalle de este análisis se encuentra en reporte de NCHRP Project No. 9-26, phase 3.*

**16.2 Sesgo.** Debido a que no hay un valor aceptable de referencia, el sesgo no ha sido determinado.

## ANEXO A

- A.1. **Calibración del transductor de desplazamiento:** *Calibrar el transductor de desplazamiento utilizando el calibrador de bloque escalonado de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la LÁMINA 8.302.25. C. Con el marco de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, quitar todas las vigas de los apoyos y colocar el calibrador de bloque escalonado en la plataforma de referencia debajo del eje de carga según las instrucciones proporcionadas por el fabricante. Aplicar una masa de 100 [g] en el eje de carga y seguir las instrucciones del fabricante para obtener las lecturas en el transductor de desplazamiento en cada peldaño del calibrador. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a constantes en [ $\mu\text{m/bit}$ ] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará las nuevas constantes en el software. Estas constantes deben ser reproducibles dentro de un 10 % desde una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa.*
- A.2. **Calibración de la celda de carga:** *La celda de carga se calibra de acuerdo a las instrucciones del fabricante, usando un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a una constante de calibración en términos de [ $\text{mN/bit}$ ] con tres cifras significativas y automáticamente incorporará la nueva constante al software. Las constantes de la calibración deben ser reproducibles dentro del 10 % de una calibración a otra, de lo contrario, la operación del sistema será sospechosa. Repetir el procedimiento para cada temperatura de prueba.*
- A.3. **Calibración del transductor de temperatura:** *El detector de temperatura se calibra utilizando un termómetro calibrado de rango conveniente que reúna los requisitos establecidos por la norma presente. Se sumerge el termómetro en el baño líquido cerca del detector térmico y se compara la temperatura indicada por ambos dispositivos. Si la temperatura indicada por supera la tolerancia de  $\pm 0,1$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], se deben seguir las instrucciones del fabricante para corregir la temperatura desplegada y lograr que ambas temperaturas coincidan.*
- A.4. **Determinación de la deformación del sistema:** *Esta determinación se realiza de acuerdo a las instrucciones del fabricante y se utilizan mínimo cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software de adquisición de datos mide la posición del desplazamiento del transductor para cada carga. La deformación se calcula como la deflexión medida por la unidad de carga. El*

**software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas de deformación en términos de  $[\mu\text{m}/\text{N}]$  con tres cifras significativas y automáticamente incorpora la deformación al software. La medida de deformación se puede obtener como parte de la calibración de la celda de carga o como una operación separada. La medición se realiza cada vez que la celda de carga es calibrada. La deformación debe ser reproducible dentro del 10 % entre una determinación a otra, de lo contrario, el funcionamiento del sistema será sospechoso. Repetir el proceso para cada temperatura del ensayo.**

## ANEXO B

(Información Obligatoria)

- B.1.** La LÁMINA 8.302.25. D incluye una tabla que presenta el resultado típico de un ensayo mediante viga reométrica de flexión. Desprecie las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 [s] iniciales de la aplicación de la carga de ensayo. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensayo pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y al tiempo de aumento finito. Use sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 [s] después de aplicada la carga de ensayo, para calcular  $S(t)$  y “valor-m”.
- B.2. Deflexión de una viga elástica:** Usando la teoría elemental de flexión, la deflexión en el medio de la luz de una viga elástica prismática de sección constante, cargada en tres puntos, puede ser obtenida aplicando las ecuaciones Ecuación 15 y Ecuación 16.

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$$

Ecuación 15. Deflexión de la viga al medio de la luz [mm].

Donde,

- δ: Deflexión de la viga al medio de la luz [mm],
- P: Carga aplicada [N],
- L : Luz (distancia entre apoyos) [mm],
- E: Módulo de elasticidad [MPa],
- I: Momento de Inercia [mm<sup>4</sup>].

Además,

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación 16. Momento de inercia de la sección transversal de la viga de ensayo [mm<sup>4</sup>].

Donde,

- I: Momento de inercia de la sección transversal de la viga de ensayo [mm<sup>4</sup>],
- b: Ancho de la viga [mm],
- h: Espesor (altura) de la viga [mm].

La probeta de ensayo tiene razón, largo-altura, de 16:1, por lo tanto la contribución del esfuerzo de corte sobre la deflexión puede ser despreciada.

**B.3. Módulo elástico:** De acuerdo a la teoría elástica, el módulo de flexión de una viga prismática de sección transversal constante cargada en su punto medio se calcula según:

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3\delta}$$

*Ecuación 17. Rigidez flexural en fluencia dependiente del tiempo [MPa].*

Donde,

E: Rigidez flexural de creep dependiente del tiempo [MPa],

P: carga constante [N],

L: Luz (distancia entre apoyos) [mm],

b: Ancho de la viga [mm],

h: Espesor de la viga [mm],

δ: Deflexión de la viga [mm].

**B.4. Tensión máxima de flexión:** La máxima tensión de flexión en la viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La tensión máxima se calcula según:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

*Ecuación 18. Máxima tensión de flexión en la viga [MPa].*

Donde,

σ: Máxima tensión de flexión en la viga [MPa],

P: Carga constante [N],

L: Luz (distancia entre apoyos) [mm],

b: Ancho de la viga [mm],

h: Espesor de la viga [mm].

**B.5. Máxima deformación unitaria en flexión:** La máxima deformación unitaria de flexión en una viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La deformación unitaria máxima se calcula:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L}$$

*Ecuación 19. Máxima deformación de la viga [mm/mm]*

Donde:

ε: Máxima deformación de la viga [mm/mm],

δ: Deflexión de la viga [mm],

h: Espesor de la viga [mm],

L: Luz (distancia entre apoyos) [mm].

**B.6. Módulo de rigidez lineal viscoelástico:** De acuerdo al principio de correspondencia elástico-viscoelástico, se puede suponer que si una viga lineal viscoelástica es sometida a carga constante aplicada en  $t = 0$ , la distribución de tensión es la misma que en una viga elástica bajo la misma carga. Más aún, las deformaciones y desplazamientos son dependientes del tiempo y se derivan a partir de los mismos en el caso elástico, reemplazando  $E$  por  $1/D(t)$ . Como  $1/D(t)$  es equivalente a  $S(t)$ , reacomodando el resultado de la solución elástica, se obtiene la siguiente relación para la rigidez:

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)}$$

*Ecuación 20. Rigidez en fluencia por flexión [MPa]*

Donde:

$S(t)$ : Rigidez en fluencia por flexión, dependiente del tiempo [MPa],

$P$ : Carga constante [N],

$L$ : Luz (distancia entre apoyos) [mm],

$b$ : Ancho de la viga [mm],

$h$ : Ancho de la viga [mm],

$\delta(t)$ : Deflexión de la viga (mm), y  $\delta(t)$  y  $S(t)$  indican que la deflexión y la rigidez, respetivamente, son funciones del tiempo.

**B.7. Presentación de la Información:** Grafique la respuesta de la viga de ensayo a la carga constante (fluencia) como el logaritmo de la rigidez con respecto al logaritmo del tiempo de carga. La LÁMINA 8.302.25. D. Muestra una representación típica de los datos del ensayo. Sobre el rango de tiempo de ensayo (de 8 a 240 [s]), el gráfico de datos mostrado en la LÁMINA 8.302.25. E se puede representar por un polinomio de segundo orden como sigue:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2$$

*Ecuación 21*

y la pendiente del logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, o “valor-m”, es igual a (valor absoluto):

$$|m(t)| = \left| \frac{d[\log S(t)]}{d[\log(t)]} \right| = B + 2C[\log(t)]$$

*Ecuación 22*

Donde,

$S(t)$  : Rigidez flexural de creep [MPa]. Dependiente de  $t$ ,

$t$  : Tiempo [s],

$A, B$  y  $C$  : Coeficientes de regresión.

Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suaves que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el “valor-m”. Este puede ser realizado promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura  $\pm 0,1$  y  $\pm 0,2$  [s]. Obtenga las constantes  $A, B$  y  $C$  a partir de ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación 7. Use datos igualmente espaciados con respecto al logaritmo del

tiempo para determinar los coeficientes de regresión de las ecuaciones 7 y 8. Determine experimentalmente los valores de rigidez usados en la regresión para derivar los coeficientes A, B y C y, a su vez, calcular los “valores-m” después de los tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 [s].

**B.8.** Cálculo de los coeficientes de regresión y valores estimados de rigidez y de “valor-m”.

**B.8.1.** Calcule los coeficientes de regresión A, B y C en las ecuaciones 7 y 8 y el denominador D como sigue:

$$A = \frac{[S_y(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{xy}(S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{xxy}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)]}{D}$$

*Ecuación 23*

$$B = \frac{[6(S_{xy}S_{x4} - S_{xxy}S_{x3}) - S_{x1}(S_yS_{x4} - S_{xxy}S_{x2}) + S_{x2}(S_yS_{x3} - S_{xy}S_{x2})]}{D}$$

*Ecuación 24*

$$C = \frac{[6(S_{x2}S_{xxy} - S_{x3}S_{xy}) - S_{x1}(S_{x1}S_{xxy} - S_{x3}S_y) + S_{x2}(S_{x1}S_{xy} - S_{x2}S_y)]}{D}$$

*Ecuación 25*

$$D = [6(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{x1}(S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{x2}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)]$$

*Ecuación 26*

En que, para tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120, 240[s], se tiene:

$$S_{x1} = \log 8 + \log 15 + \dots \log 240$$

$$S_{x2} = (\log 8)^2 + (\log 15)^2 + \dots (\log 240)^2$$

$$S_{x3} = (\log 8)^3 + (\log 15)^3 + \dots (\log 240)^3$$

$$S_{x4} = (\log 8)^4 + (\log 15)^4 + \dots (\log 240)^4$$

$$S_y = \log S(8) + \log S(15) + \dots \log S(240)$$

$$S_{xy} = \log S(8) \log S(8) + \log S(15) \log S(15) + \dots \log S(240) \log S(240)$$

$$S_{xxy} = \log(8)^2 \log S(8) + \log(15)^2 \log S(15) + \dots \log(240)^2 \log S(240)$$

**B.8.2.** Calcule la rigidez estimada a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 [s] como:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2$$

*Ecuación 27*

**B.8.3.** Calcule el “valor- m” estimado a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 [s], como el valor absoluto de:

$$|m| = B + 2C[\log(t)]$$

*Ecuación 28*

**B.8.4.** Calcule la fracción de variación en la rigidez, explicado por el siguiente modelo cuadrático:

$$R^2 = 1,00 - \frac{[\log S(8) - \log S'(8)] + \dots [\log S(240) - \log S'(240)]}{[\log S(8) - \log S'(8)]^2 + \dots [\log S(240) - \log S'(240)]^2}$$

*Ecuación 29*

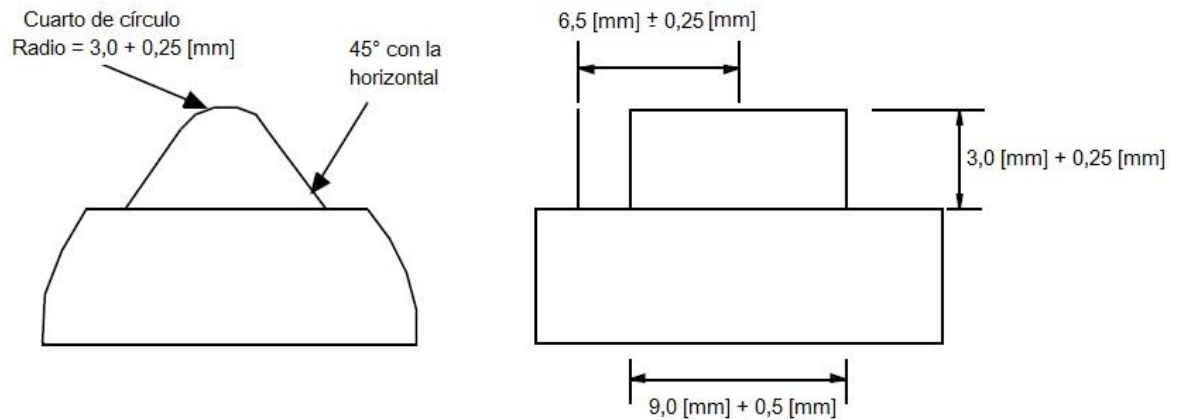
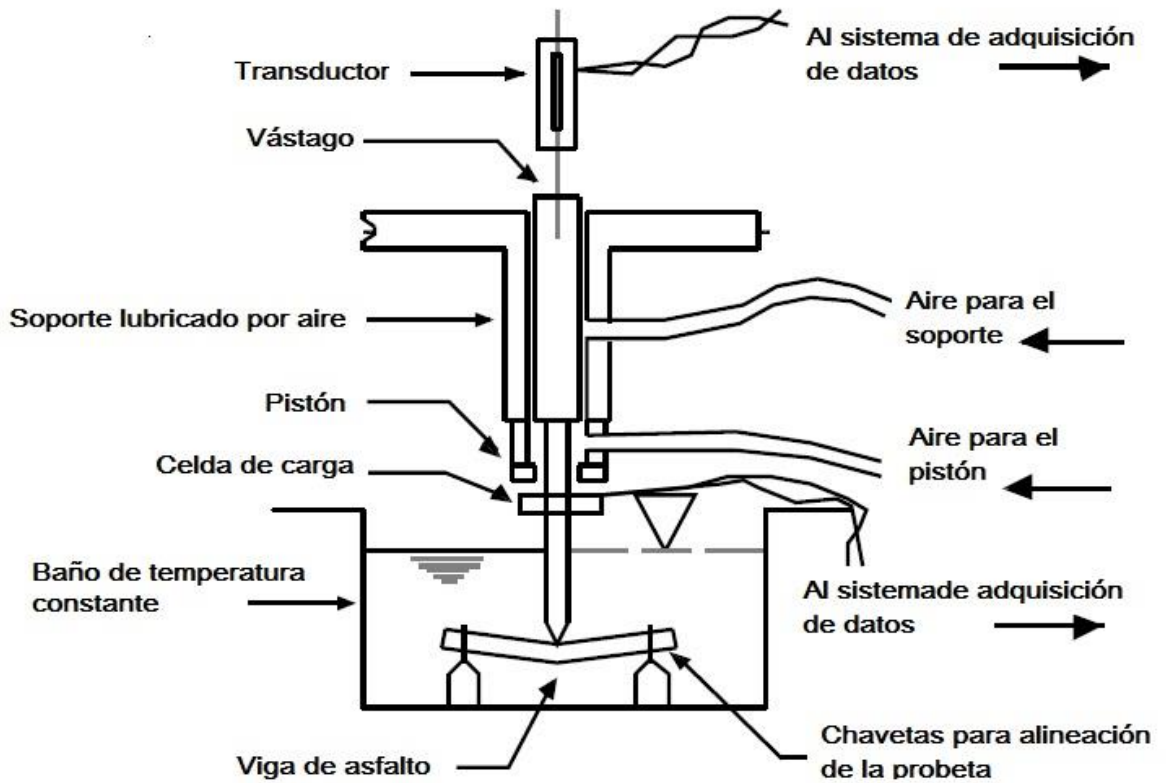
**B.8.5.** Calcule  $\bar{S}$  como el promedio de los valores de rigidez a 8, 15, 30, 60 120 y 240 [s], como sigue:

$$\log \bar{S} = \frac{\log S(8) + \dots \log S(240)}{6}$$

*Ecuación 30*

**B.8.6.** Use los valores estimados de rigidez y valor de  $m$  a 60 [s] para propósitos de especificación. Los valores medidos y estimados de rigidez deberían estar acordes dentro de un 2 %. En cualquier otro caso, el ensayo es considerado sospechoso.

### LÁMINA 8.302.25. A ESQUEMA DEL REÓMETRO DE VIGA EN FLEXIÓN



SOPORTES DE LA PROBETA

## LÁMINA 8.302.25. B DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES PARA MOLDES DE ALUMINIO

Secciones Metálicas:

B Placa base 6,35 x 19 x 165 [mm]

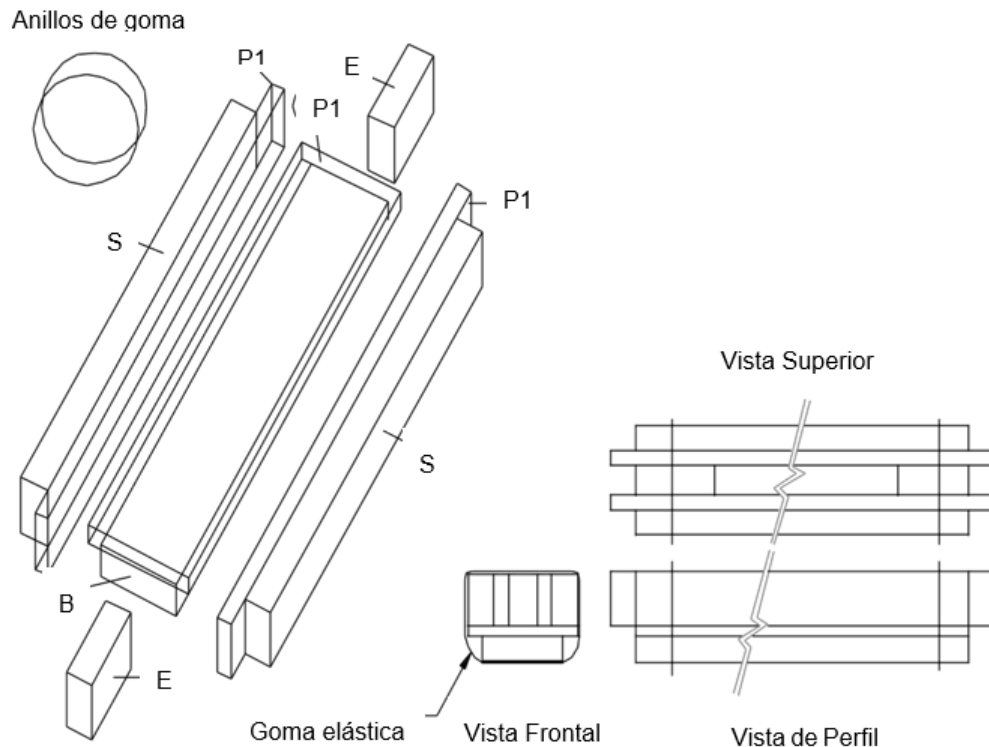
S Placa Lateral 6,35 x 12,7 x 165 [mm]

Láminas Plásticas:

P1 12,7 X 178 [mm]

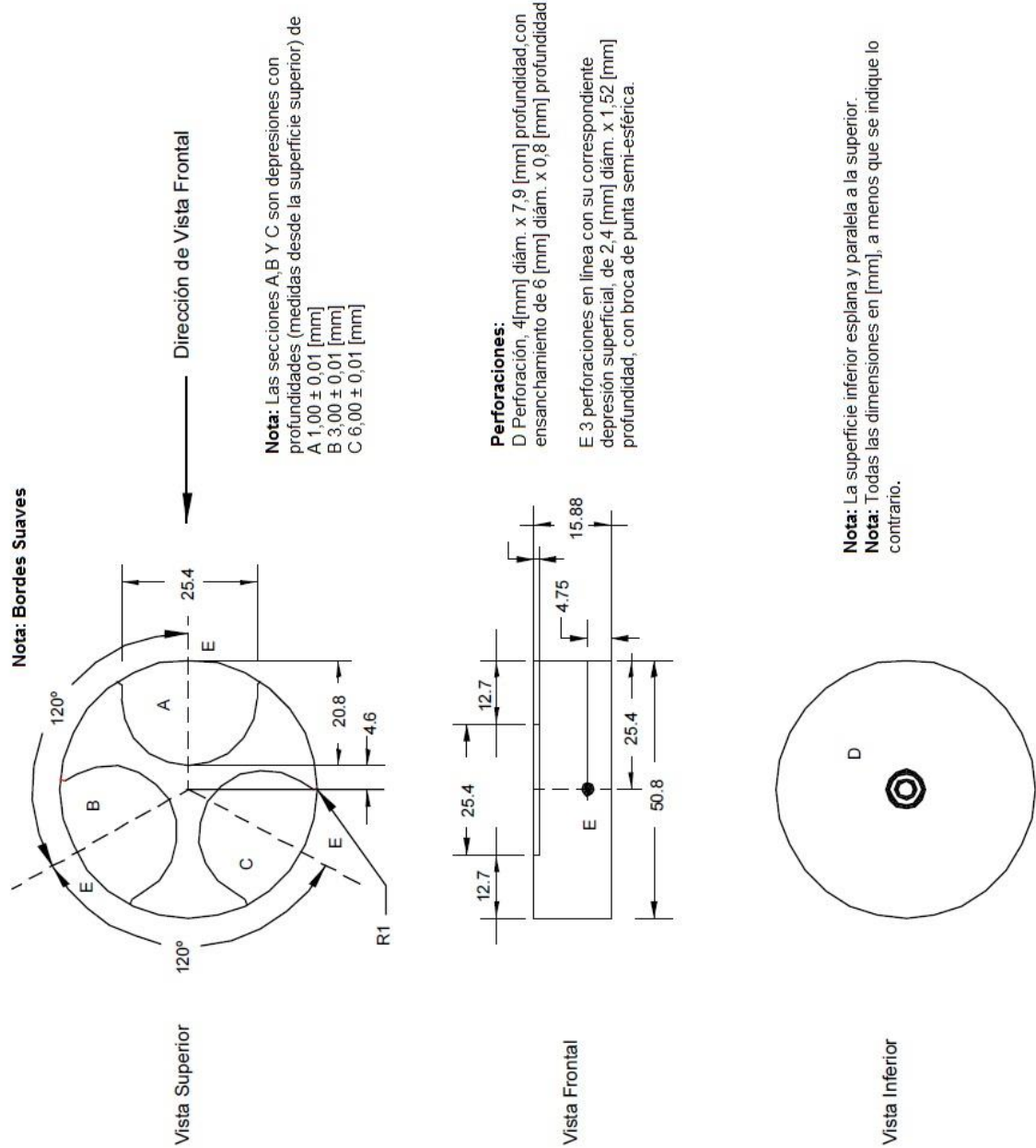
P1 19 X 165 [mm]

Nota: Las dimensiones indicadas son nominales, sin embargo, los requerimientos de la sección 7.3 prevalecen.



### LÁMINA 8.302.25. C

## ESTANDAR DE ESESORES TÍPICOS, USADO PARA CALIBRAR EL SENSOR DE DEFLEXIÓN



**LÁMINA 8.302.25. D**  
**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**TEST INFORMATION**

Project: Testing      Targer Temp: 23,0 °C      Conf. Test: 2.199c+008  
Operator: JSY      Actual Temp: 14,8 °C      Date: 09/17/93  
Specimen: plastic beam b      Soak Time: 0,0 sec      Load Const: 0,24  
Time: 11:47:03      Beam Width: 12,70 mm      Defl Const: 0,0024  
Date: 09/18/93      Thickness: 6,35 mm      Date: 09/17/93  
File: 0818934.dat

**RESULTS**

| t<br>time<br>(sec) | P<br>Force<br>(N) | d Defl (mm) | Measured<br>Stiffness<br>(kPa) | Estimated<br>Stiffness<br>(kPa) | Difference<br>% | m-value |
|--------------------|-------------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------|
| 8                  | 0,9859            | 0,9126      | 87030,0                        | 87060,0                         | 0,03532         | 0,176   |
| 15                 | 0,9894            | 1,022       | 77990,0                        | 77930,0                         | -0,0812         | 0,175   |
| 30                 | 0,9913            | 1,158       | 68960,0                        | 68990,0                         | 0,04809         | 0,175   |
| 60                 | 0,9910            | 1,308       | 61110,0                        | 61110,0                         | 0,004487        | 0,174   |
| 120                | 0,9908            | 1,475       | 54150,0                        | 54150,0                         | 0,001551        | 0,174   |
| 240                | 0,9906            | 1,664       | 48010,0                        | 48000,0                         | 0,005077        | 0,174   |

**Regression Coefficients**

**A = 5,100      b = -0,1784      c = 0,001020      R<sup>2</sup> = 0,999996**

CANNON BENDING BEAM RHEOMETER      P to Print - ESC to continue

LÁMINA 8.302.25. E  
ENSAYE DE FLUENCIA EN FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS

