



# Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047)

Quim. Jorge Salazar Delgado, LanammeUCR

Fecha de recepción: 29 de agosto del 2011

Fecha de aceptación: 29 de setiembre del 2011

## Resumen

En este documento se presenta un resumen y descripción del Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:047 como guía para caracterizar y clasificar ligantes asfálticos sin modificar, asfalto convencional, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados brindando las especificaciones mínimas requeridas, para ser utilizadas en la rehabilitación, reconstrucción y construcción de carreteras. Este artículo está dirigido principalmente a empresas y laboratorios de ensayo relacionados con el sector de carreteras que requieran determinar la calidad de los materiales utilizados en los procesos de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, adicionalmente se presenta una descripción o interpretación del resultado de cada ensayo.

## Palabras claves:

Asfalto, bitumen, ligantes, emulsiones, coloides.

## Abstract

This document presents a summary and description of the RTCA 75.01.22:047 as a guide to characterize and classify asphalt binders un-modified, conventional asphalt, asphalt emulsions and cutback asphalt, required to provide the minimum specifications to be used in rehabilitation, reconstruction and construction of roads. This article is addressed mainly to companies and testing laboratories related to the road sector that require determining the quality of materials used in the processes of maintenance, rehabilitation or reconstruction, in addition is a description or interpretation of the results of each test.

## Keywords:

Asphalt, bitumen, binders, emulsions and colloids.

## 1. Introducción

El asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad ya que tiene ciertas características físicas que le permiten su uso como aglutinante en la mezcla asfáltica.

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

-Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

-Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

En Costa Rica y a nivel de Centroamérica se aplica el Reglamento técnico centroamericano RTCA 75.01.22:047 donde se indican los ensayos de control de calidad, especificaciones y caracterización de productos de petróleo y asfaltos. Este reglamento está sustentado en las Normas ASTM o en su equivalente a las Normas AASHTO, según el Anexo A del reglamento.

Es muy importante considerar que la muestra del ligante asfáltico debe ser representativa, y de mantenerse almacenada debe usarse el recipiente adecuado y bajo condiciones de almacenamiento óptimas para evitar contaminación o alteración de las propiedades de la muestra.

A continuación se presenta una descripción de cómo interpretar el RTCA y una breve descripción de cada ensayo, además de resultados importantes que provienen de algunos cálculos utilizando datos obtenidos de ensayo. En este documento se evalúan dos tipos de fundamentales de muestras, asfalto y como subproductos de asfalto (emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados).

## 2. Asfalto

El asfalto puede ser caracterizado de tres maneras, según el reglamento técnico centroamericano RTCA 75.01.22:047. Estas formas de caracterizar el asfalto resultan útiles si la interpretación de los resultados es apropiada, el asfalto de puede caracterizar por grado de viscosidad, por grado de penetración y por grado de desempeño. Independientemente de cada caracterización intenta evaluar la consistencia del asfalto a una o varias temperaturas, así como evaluar propiedades relacionadas con pureza, susceptibilidad al envejecimiento y seguridad.

### 2.1 Caracterización por grado de viscosidad.

La Tabla N° 1 muestra las especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de viscosidad a 60 °C (Tabla 1B del RTCA).

Se recomienda que la cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas es un galón de asfalto (3,79 Litros), pese a que los ensayos podrían realizarse con muestras de menor tamaño. Adicionalmente es recomendable contar con una muestra testigo en caso de requerir verificar posteriormente alguna propiedad.

El principio fundamental de la caracterización por grado de viscosidad es determinar la viscosidad absoluta a 60 °C y asignar como resultado o consistencia obtenida el grado AC correspondiente, para luego verificar los demás requisitos para este grado AC (por ejemplo AC30) en el resto de ensayos especificados.

Los ensayos especificados son:

- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171).
- Viscosidad Cinemática a 135 °C (ASTM D2170).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Efecto del calor y el aire en materiales asfálticos mediante el horno de película delgada TFO. (ASTM D1754).
- Viscosidad a 60 °C (ASTM D2171). Al residuo del envejecido TFO. (Horno de película delgado por sus siglas en ingles)
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO. (Horno de película delgado por sus siglas en ingles)

### Breve descripción de las pruebas de ensayo:

#### 2.1.1 Viscosidad a 60 °C.

Esta es una propiedad fundamental del asfalto para cuantificar su consistencia a la temperatura de 60 °C, adicionalmente se utiliza para valorar el efecto de la temperatura en el comportamiento del material para proponer el rango de temperaturas en la producción de la mezcla asfáltica y su colocación. (Importante: 1 P = 10 Pa\*s).

#### 2.1.2 Viscosidad Cinemática a 135 °C.

Esta información también es una propiedad fundamental del asfalto, determina el comportamiento del material con respecto a la temperatura, de esta forma se garantizan condiciones adecuadas para el almacenamiento del asfalto, transporte y bombeo, además este parámetro se utiliza en el cálculo de temperaturas de mezclado y compactación, junto al ensayo de viscosidad absoluta a 60 °C. (Importante: 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/s).

### 2.1.3 Penetración a 25 °C.

La prueba de penetración es otro método para cuantificar la consistencia del asfalto, también utilizada como guía y para caracterizar asfaltos por grado de penetración. En general asfaltos blandos tendrán penetraciones mayores que los más rígidos. Los ensayos de penetración fueron utilizados dentro de las primeras metodologías de clasificación de asfaltos y aun se siguen utilizando.

### 2.1.4 Punto de inflamación con copa abierta Cleveland.

La prueba de punto de inflamación es un parámetro muy importante como consideración de almacenaje y transporte, ya que indica la temperatura mínima a la cual el asfalto empieza a generar vapores potencialmente inflamables, generando así riesgos de fuego.

### 2.1.5 Solubilidad en tricloroetileno.

El ensayo de solubilidad determina el contenido de asfalto en el asfalto original. La porción de asfalto soluble en tricloroetileno está constituida por los elementos aglomerantes activos, la parte insoluble es considerada materia inerte y posiblemente de naturaleza inorgánica. Es una forma de identificar el porcentaje de contaminantes en el asfalto.

### 2.1.6 Cambio de masa en horno de película delgada TFO.

Este ensayo se emplea para evaluar la susceptibilidad al endurecimiento o envejecimiento de tendría el asfalto durante las operaciones de mezclado, cuando se realiza esta prueba se debe reportar el resultado obtenido, de esta manera se puede expresar el resultado como pérdida de masa (al usar signo negativo) o ganancia de masa (utilizando signo positivo). Esta tendencia al endurecimiento o envejecimiento se mide por un cambio de masa comparando la masa original respecto a la masa luego del calentamiento en el horno TFO.

### 2.1.7 Viscosidad a 60 °C. (al residuo TFO).

Este dato proporciona información preliminar del comportamiento del asfalto posterior a la etapa de envejecimiento TFO. Se mide la viscosidad del asfalto acondicionado TFO y se compara con el valor inicial de viscosidad absoluta del asfalto en condición original. De esta información se obtiene la razón de viscosidades. Es una forma muy cuantitativa de determinar el envejecimiento del asfalto después del acondicionamiento TFO, para los asfaltos clasificados por grado de viscosidad se utiliza el valor de 3.0 máximo., como razón de viscosidades.

### 2.1.8 Ductilidad a 25 °C. (al residuo TFO).

La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide la capacidad del asfalto a la elongación

Tabla N° 1 Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su viscosidad a 60 °C.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C	N s/m <sup>2</sup>	D-2170	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm <sup>2</sup> /s	D.2170	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
<u>Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada:</u>		D-1754						
Viscosidad, 60°C, máx.	N s/m <sup>2</sup>	D-2171	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, mínimo	cm	D-113	100 <sup>A</sup>	100	75	50	40	25

antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

## 2.2. Caracterización por grado de penetración.

La Tabla N° 2 muestra las especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de penetración a 25 °C (Tabla N° 5 del RTCA).

La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas es un galón (3.78 litros) de asfalto. Adicionalmente se recomienda tener una muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo. El principio fundamental es clasificar el asfalto de acuerdo con los resultados del ensayo de penetración a 25 °C. Se debe verificar el cumplimiento de los de más parámetros especificados.

Los ensayos especificados son:

- Penetración a 25 °C (ASTM D 5).
- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).

- Cambio de masa en horno de película delgada TFO (ASTM D1754).
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5). Al residuo del envejecido TFO.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo del envejecido TFO.

Breve descripción del fundamento de las pruebas de ensayo:

La mayoría de los ensayos fueron descritos en la clasificación por grado de viscosidad.

### 2.2.1 Ensayo de penetración a 25 °C al residuo del TFO.

Este dato proporciona una estimación del comportamiento del asfalto posterior a la etapa de envejecimiento TFO, se mide la penetración a 25 °C del asfalto acondicionado TFO y se compara con el valor inicial de penetración a 25 °C del asfalto en condición original. De esta forma se obtiene información cuantitativa del envejecimiento del asfalto después del acondicionamiento en el horno TFO.

### 2.3 Equivalencias entre grado de viscosidad y grado de penetración.

Debido a la posibilidad de utilizar la clasificación de grado de viscosidad a 60 °C o la de penetración a 25 °C, es

Tabla N° 2 Especificaciones para cementos asfálticos. Clasificados por su grado de penetración.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 <sup>A</sup>	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad 25°C, 5 cm(min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 <sup>A</sup>	---

A Si la ductilidad a 25°C es menor que 100 cm se puede aceptar el material si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100 cm a una tasa de 5 cm/min

Tabla N° 3 Especificaciones para cementos asfálticos. Equivalencias entre grado de penetración y grado de viscosidad.

Grado de Penetración	Grado de Viscosidad AC (Asphalt Cement)
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

importante conocer la equivalencia para estas dos formas de clasificar el asfalto destinado para la construcción de pavimentos.

## 2.4 Grado de desempeño PG.

La tabla N° 4 muestra las especificaciones para cementos asfálticos clasificados por grado de desempeño. (Tabla N° 7 del RTCA).

La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas es de medio galón (alrededor de 2 litros) de asfalto. Se recomienda tener una muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo.

El principio fundamental es realizar los envejecimientos en el horno de película delgada rotacional (RTFO) y en el Recipiente de envejecimiento presurizado (RTFO+PAV) (de sus siglas en inglés), medir las propiedades reológicas de la muestra en condición original, la muestra acondicionada RTFO y la muestra acondicionada RTFO+PAV y buscar con base a estos el rango de clasificación en el cual se cumplen los requerimientos, a los demás ensayos se les debe verificar el cumplimiento.

Los ensayos especificados son:

- Punto de inflamación con copa abierta Cleveland (ASTM D92).
- Viscosidad Dinámica a 135 °C (ASTM D4402).
- Efecto del calor y el aire en una película delgada de asfalto en movimiento mediante el horno de película delgada rotacional RTFO. (ASTM D2872).
- Determinación de propiedades reológicas de materiales bituminosos (AASHTO T315 / ASTM D7175).
- Ensayo de envejecimiento de ligantes asfálticos utilizando el recipiente de envejecimiento presurizado PAV (ASTM D6521).

Breve descripción de las pruebas de ensayo:

### 2.4.1 Punto de inflamación Cleveland copa abierta.

La prueba de punto de inflamación es un parámetro muy importante como consideración de almacenaje y transporte, ya que indica la temperatura mínima a la cual el asfalto empieza a generar vapores potencialmente inflamables, generando así riesgos de fuego.

### 2.4.2 Viscosidad Dinámica a 135 °C (20 RPM, eje N°21).

El viscosímetro rotacional (RV) caracteriza la rigidez (stiffness) del asfalto a 135 °C, temperatura en la cual se comporta casi enteramente como un fluido. Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje N°21 (spindle) sumergido en la muestra de asfalto caliente a una velocidad constante. Esta especificación limita a un valor menor de 3 Pa\*s. Esto garantiza un asfalto que puede ser bombeado y manejable durante la elaboración de la Mezcla asfáltica en caliente (HMA).

### 2.4.3 Efecto del calor y el aire en una película delgada de asfalto en movimiento mediante el horno de película delgada rotacional RTFO.

Un aspecto clave en la evaluación de ligantes asfálticos con el sistema Superpave, es que las propiedades físicas son medidas sobre ligantes que han sido envejecidos en laboratorio para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento en operación. Las propiedades físicas se miden mediante reología los ligantes envejecidos en el RTFO (Rolling Thin Film Oven), para simular el endurecimiento por la oxidación que ocurre durante el mezclado en caliente y la colocación.

### 2.4.4 Envejecimiento acelerado de ligantes asfálticos utilizando el recipiente de envejecimiento presurizado PAV.

Otra etapa de envejecimiento que se puede medir de forma posterior al RTFO es el envejecimiento PAV (Pressure Aging Vessel) donde se simula además del endurecimiento por la oxidación que ocurre durante el mezclado en caliente y la colocación, el severo envejecimiento que sufre el ligante después de varios años de servicio en un pavimento.

### 2.4.5 Determinación de propiedades reológicas de materiales bituminosos.

Una vez que se han realizado los envejecimientos solicitados, las muestras se miden en el DSR (siglas en

Tabla N° 4 Especificaciones de calidad para aglutinante asfáltico. Clasificado por desempeño.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	GRADO DEL DESEMPEÑO						
		PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
		-34 -40 -46	-10 -16 -22 -28 -34 -40 -46	-16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34 -40	-10 -16 -22 -28 -34	-10 -16 -22 -28 -34
Promedio 7-días Temperatura Máxima de Diseño de Pavimento	°C	<46	<52	<58	<64	<70	<76	<82
Temperatura Mínima de Diseño de Pavimento <sup>(1)</sup>	°C	>-34>-40>- 46	>-10>-16> -22>-28>-34>- 40>-46	>-16>-22>- 28>-34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>- 34>-40	>-10>-16> -22>-28>-34	>-10>-16> -22>-28>-34
Aglutinante Original								
Temperatura de Punto de Inflamación, Mínima	°C	230						
Viscosidad, 3 Pa.s, Temperatura de Prueba, máxima	°C	135						
Cizalla Dinámica <sup>(2)</sup> G*/sen δ, mín. 1.10 kPa. de 25-mm, Plato 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10-rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82
Horno sobre película delgada rodante (Método de Prueba D-2872)								
Pérdida de masa, máxima	%	1.0						
Cizalla Dinámica: G*/sen δ, mín. 2.20 kPa, Plato de 25-mm, 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s	°C	46	52	58	64	70	76	82

Residuo de Recipiente para Envejecimiento a Presión (AASHTO PP1)								
Temperatura de Envejecimiento PAV <sup>(3)</sup>	°C	90	90	100	100	100 (110)	100 (110)	100 (110)
G*/sen δ, máx. 5000 kPa, Plato de 8 mm, 2 mm de Espacio, Temp de Prueba a 10 rad/s	°C	10 7 4	25 22 19 16 13 10 7	25 22 19 16 13	31 28 25 22 19 16	34 31 28 25 22 19	37 34 31 28 25	40 37 34 31 28
Resistencia a la Fluencia: <sup>(4)</sup> S, máx. 300 MPa, valor m, mín. 0.300, Tempo de Prueba en 60 s	°C	-24 -30 -36	0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24	0 -6 -12 -18 -24
Tensión Directa: (4) Falla de Deformación, mín. 1.0 %, Temp. de Prueba a 1.0 m/minuto	°C	-24 -30 -36	0 -6 -12 -18 -24 -30 -36	-6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24 -30	0 -6 -12 -18 -24	0 -6 -12 -18 -24

- 1) Las temperaturas del pavimento se estiman por medio de las temperaturas del aire utilizando un algoritmo contenido en el Programa de Computadora SUPERPAVE.
- 2) Para control de calidad de la producción de cemento asfáltico sin modificar, la medida de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituir a las medidas de cizalla dinámica de G\*/sen δ en las temperaturas de prueba donde el asfalto es un fluido Newtoniano. Se puede utilizar cualquier norma adecuada para medir la viscosidad, incluyendo viscosímetro capilar o rotacional (Métodos de Prueba D-2170 ó D-2171).
- 3) La temperatura de envejecimiento PAV es 100°C para PG 64 y grados superiores, excepto para climas desérticos donde es 110°C.
- 4) Si la dureza a la deformación gradual es menor que 300 MPa, no se requiere la prueba de tensión directa. Si la dureza a la deformación está entre 300 y 600 MPa el requerimiento de falla de deformación de la tensión directa se puede utilizar en lugar del requerimiento del esfuerzo a la fluencia. El requerimiento del valor m se debe satisfacer en ambos casos.

ingles de Reometro Dinámico de Corte), para caracterizar las propiedades visco-elásticas del ligante. Se mide el módulo complejo en corte ( $G^*$ ), el ángulo de fase ( $\delta$ ), sometiendo una muestra pequeña de ligante a tensiones de corte oscilante, la muestra se coloca entre dos platos paralelos.

El DSR calcula  $G^*$  y  $\delta$  midiendo la respuesta de la deformación específica de corte del espécimen sometido a un torque. Las muestras evaluadas son:

Ligante asfáltico en condición original (virgen).

Ligante asfáltico envejecido en RTFO.

Ligante asfáltico envejecido en RTFO y luego en el PAV.

Las condiciones para la realización de este ensayo se encuentran documentadas en la Norma ASTM D7175. Los límites de ensayo son para la condición original la temperatura donde el  $G^*/\text{sen}(\delta)$  sea mínimo de 1,00 kPa, para el acondicionamiento RTFO el  $G^*/\text{sen}(\delta)$  mínimo 2,20 kPa y para el acondicionamiento más severo RTFO+PAV el  $G^*/\text{sen}(\delta)$  sea máximo 5000 kPa.

## 2.5 Ensayos informativos.

Además de los ensayos propuestos para el control de calidad de ligantes asfálticos y su caracterización, existen ensayos informativos que proporcionan información muy importante sobre el ligante, algunos son cálculos que se derivan de los resultados obtenidos.

La tabla N° 1 del RTCR 248:1997 muestra los límites de los parámetros especificados para cementos asfálticos.

La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas es de medio galón (alrededor de 2 litros) de asfalto. Se recomienda tener una muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo.

Los ensayos informativos son:

- Densidad a 25 °C (ASTM D70).
- Cromatografía SARA (ASTM D4124). Índice de Inestabilidad coloidal, IC (Procedimiento numérico).
- Contenido de ceras (UOP-046).
- Índice de susceptibilidad térmica, VTS (Procedimiento numérico).
- Razón de viscosidades (Procedimiento numérico).
- Cálculo de temperatura de mezclado y compactación (ASTM D2493; MS-2 Mix Design methods for asphalt concrete).

Breve descripción de las pruebas de ensayo:

### 2.5.1 Densidad a 25 °C (gravedad específica).

Este ensayo es un parámetro fundamental del asfalto, utilizado para la venta de asfalto y el cálculo de masa - volumen en los tanques de almacenamiento, ya que permite estimar el volumen vendido de asfalto.

### 2.5.2 Cromatografía SARA.

El índice de inestabilidad coloidal (Gaestel y Huet), es un parámetro que mide las fracciones del asfalto que se obtienen mediante el método de Corbett, este consiste en un fraccionamiento químico donde se separa el asfalto mediante la cromatografía de Corbett Swarbrick, en cuatro fracciones definidas: Saturados; Naftenos aromáticos (Aromáticos), Polares aromáticos (Resinas) y Asfalténos. Este método se conoce como cromatografía SARA. Además de obtener el contenido de cada fracción, también se realiza el cálculo del IC. El cual se especifica como 0,6 máximo.

$$\text{Índice de Inestabilidad Coloidal (IC)} = \frac{(\% \text{ Asfalténos} + \% \text{ Saturados})}{(\% \text{ Resinas} + \% \text{ Aromáticos})}$$

### 2.5.3 Contenido de Ceras.

Este es el contenido de ceras parafínicas, la concentración de ceras se obtiene de la fracción de saturados de la cromatografía SARA, es importante considerar que contenidos muy altos de estas ceras son perjudiciales para los asfaltos y sus aplicaciones, ya que producen problemas en la colocación y compactación debido a que la mezcla fluye de forma lateral y no permite una adecuada compactación. Se especifica como 3,0 máximo.

### 2.5.4 Índice de susceptibilidad térmica VTS. (Susceptibilidad viscosidad-temperatura).

Este es un parámetro que evalúa la variación de la viscosidad de los asfaltos con los cambios de temperatura durante su manipulación. Entre 3,3 y 3,9 por especificación, su valor se calcula con la siguiente expresión:

$$VTS = \frac{(\log \log (\eta \text{ a } 60 \text{ } ^\circ\text{C}) - \log \log (\eta \text{ a } 135 \text{ } ^\circ\text{C}))}{(\log (333 \text{ } ^\circ\text{K}) - \log (408 \text{ } ^\circ\text{K}))}$$

$\eta$  = Viscosidad.

### 2.5.5 Razón de viscosidades.

Es la razón entre la viscosidad acondicionada en TFO sobre el resultado de la viscosidad en condición original, se especifica como 3,0 máximo.

$$\text{Razón de viscosidades absolutas} = \frac{\eta \text{ a } 60 \text{ }^{\circ}\text{C (residuo TFO)}}{\eta \text{ a } 60 \text{ }^{\circ}\text{C (original)}}$$

$\eta$  = Viscosidad.

### 2.5.6 Cálculo de temperatura de mezclado y compactación.

Al graficar la viscosidad a 60 °C y la viscosidad a 135 °C contra la temperatura en grados centígrados, la viscosidad representada en unidades de loglog ( $\square$  / cSt), se utilizan los rangos propuestos en el MS-2 del Asphalt Institute de utilizar el rango de (170  $\pm$  20) cSt para el rango de temperatura de mezclado y (280  $\pm$  30) cSt para el rango de temperatura de compactación.

## 3. Emulsiones asfálticas.

La emulsión asfáltica puede ser clasificada según su tipo de acuerdo con el RTCA. Esta forma de caracterizar la emulsión depende de su velocidad de rompimiento y de su carga electrostática (según el tipo de emulsificante utilizado), y posteriormente de acuerdo con las propiedades del asfalto residual.

### 3.1 Emulsiones catiónicas.

La tabla N° 5 muestra las especificaciones para emulsiones asfálticas catiónicas. La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas es de un galón (3,78 Litros) de emulsión asfáltica. Se recomienda tener una muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo. El objetivo es el control de calidad por lo que se verifica el cumplimiento de los resultados de ensayo contra el tipo de emulsión fabricada por el proveedor. (Tabla N° 6 del RTCA).

Los ensayos especificados son:

- Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D244).
- Prueba de estabilidad a 24 h (ASTM D6930).
- Demulsibilidad (ASTM D6936).
- Prueba de carga eléctrica de partículas (ASTM D244).
- Prueba de tamizado (ASTM D6933).
- Destilación y aceite destilado. (ASTM D6997).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70). Al residuo de la destilación.
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5). Al residuo de la destilación.

- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo de la destilación.

### Breve descripción de las pruebas de ensayo:

#### 3.1.1 Viscosidad Saybolt Furol.

Esta prueba tiene la finalidad de determinar la viscosidad de la emulsión mediante un viscosímetro Saybolt Furol el cual cuenta con un orificio calibrado para este fin, con el propósito de conocer la consistencia y de forma indirecta, conocer como está el contenido de asfalto en la emulsión asfáltica. La presencia de glóbulos grandes puede obstruir el orificio calibrado indicando que la emulsión está rompiendo.

#### 3.1.2 Prueba de estabilidad a 24 h.

La prueba de estabilidad o prueba de asentamiento o sedimentación, consiste en obtener la tendencia de los glóbulos de asfalto para sedimentarse durante un almacenamiento prolongado, lo cual se puede relacionar como una medida del deterioro de la misma en el tiempo.

#### 3.1.3 Demulsibilidad

La prueba de demulsibilidad consiste en obtener el porcentaje de asfalto activo cuando la emulsión asfáltica es forzada a romper mediante un agente químico. Solo tiene aplicación con emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento rápido.

#### 3.1.4 Prueba de carga eléctrica de partículas.

La prueba de carga electrostática consiste en determinar de forma cualitativa, el tipo de carga del emulsificante y por lo tanto el tipo de emulsión. Las emulsiones catiónicas mostrarán una deposición de material bituminoso en el cátodo o electrodo negativo.

#### 3.1.5 Prueba de tamizado.

El objetivo de esta prueba es determinar cuantitativamente, el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes, que pudieran obstruir los equipos de aplicación. Además de indicar que tan estable puede encontrarse la emulsión asfáltica.

#### 3.1.6 Destilación y aceite destilado.

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua, residuo asfáltico y contenido de aceites en la emulsión asfáltica. Es un parámetro fundamental de calidad

Tabla N° 5 Especificaciones de calidad para emulsiones asfálticas de tipo cationicas.

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	TIPO													
		Rompimiento													
		Rápido			Medio			Lento			Acelerado				
		GRADO													
CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H			
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Pruebas sobre la emulsión Viscosidad, Saybolt Furol a 25 °C	SFS	---	---	---	---	---	---	20	100	20	100	20	100		
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C	SFS	20	100	100	140	50	450	50	450	---	---	---	---		
Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24 h <sup>A</sup>	%	---	1	---	1	---	1	---	1	---	1	---	---		
Demulsibilidad, 35 ml, o.8% sulfocianato de dioctil sodio	%	40	---	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
Prueba de carga eléctrica de partículas	---	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva		
Prueba de tamizado <sup>B</sup>	%	---	0.10	---	0.10	---	0.10	---	0.10	---	0.10	---	0.10		
Prueba de mezclado de cemento	%	---	---	---	---	---	---	---	2.0	---	2.0	---	N/A		
Destilación: Aceite destilado, por volumen de emulsión	%	---	3	---	3	---	12	---	12	---	---	---	---		
Residuo	%	60	---	65	---	65	---	65	---	57	---	57	---		
Pruebas sobre el residuo de la destilación															
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s	1/10 mm	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90		
Ductilidad, 25°C. 5 cm/min	cm	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---		
Solubilidad en tricloroetileno	%	97.5	---	---	---	---	97.5	---	97.5	---	97.5	---	---		

de la emulsión asfáltica en cuanto a los materiales que la constituyen.

**3.1.7 Solubilidad en tricloroetileno. Al residuo de la destilación.**

Las pruebas en el residuo de la destilación tienen como objeto conocer las propiedades de los materiales asfálticos que componen a la emulsión asfáltica. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos ensayos se hacen sobre el residuo de una destilación y estas pruebas han mostrado resultados que difieren de las propiedades de los asfaltos empleados durante su fabricación. El ensayo de solubilidad determina el contenido de materia inorgánica en el residuo

de destilación. La porción de asfalto soluble en tricloroetileno está constituida por los elementos aglomerantes activos, la parte insoluble es considerada materia inerte y posiblemente de naturaleza inorgánica. Es una forma de determinar contaminantes en el asfalto o aditivos incorporados.

**3.1.8 Penetración a 25 °C. Al residuo de la destilación.**

La prueba de penetración es una medida de la consistencia, los asfaltos blandos permitirán penetraciones mayores que los más rígidos.

Tabla N° 6 Especificaciones de calidad para emulsiones asfálticas de tipo aniónicas.

Tipo	Rompimiento rápido						Rompimiento medio					
	RS-1		RS-2		RS-3		MS-1		MS-2		MS-3	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Test sobre la emulsión Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, SFS	20	100	...	...	...	...	202	100	100	...	100	...
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, SFS	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...
prueba de estabilidad en almacenamiento, 24h, % <sup>A</sup>	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1
Demulsibilidad, 35 ml de CaCl <sub>2</sub> 0.02 N, %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua							Bueno		Bueno		Bueno	
Película agregado seco	...						Regular		Regular		Regular	
Película después de rociado	...						Regular		Regular		Regular	
Película agregado húmedo	...						Regular		Regular		Regular	
Película después de rociado	...						Regular		Regular		Regular	
Prueba de mezclado de cemento, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prueba de tamizado, % <sup>A</sup>	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10
Residuo por destilación, %	55	...	63	...	63	...	55	...	65	...	65	...
Aceite destilado por volumen de emulsión, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Pruebas sobre el residuo de la destilación												
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...
Prueba de flotador, 60°C, s	...	...	...	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

Tipo	Rompimiento													
	Medio								Lento				Acelerado	
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h		OS-1H	
Q Grado	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Prueba sobre las emulsiones Viscosidad Saybolt Furol 25°C, s	20	100	100	...	100	...	50	...	20	100	20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol 50°C, s	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Prueba de estabilidad en almacenamiento, 24 h, % <sup>A</sup>	...	1	...	1	...	1	...	1	1	...	1	...	...	...
Demulsibilidad, 35 ml 0.02 N de CaCl <sub>2</sub> %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua														
Película agregado seco	Bueno		Bueno		Bueno		Bueno		...		...			
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		...		...			
Película agregado húmedo	Regular		Regular		Regular		Regular		...		...			
Película después de rociado	Regular		Regular		Regular		Regular		...		...			
Prueba de mezclado cemento, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2.0	...	2.0	...	N/A
Prueba de tamizado, % <sup>A</sup>	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1
Residuo por destilación, %	55	...	65	...	65	...	65	...	57	...	57	...	57	...
Destilado de aceite por volumen de emulsión, %	...	...	...	...	...	...	1	7	...	...	...	...	...	...
Prueba sobre el residuo de destilación														
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	100	200	100	200	40	90	200	...	100	200	40	90	40	90
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
Solubilidad en tricloroetileno, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...
Prueba de flotador, 60°C, s	1200	...	1200	...	1200	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

<sup>A</sup> Esta prueba requiere que se realice sobre muestras representativas y será descartada si la aplicación del material resulta exitosa, habiendo sido probada en el campo.

3.1.9 *Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo de la destilación.*

La presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide cuanto el asfalto se estira antes de romperse bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente a mejores propiedades aglomerantes. Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

### 3.2 **Emulsiones aniónicas**

La tabla N° 6 muestra las especificaciones para emulsiones asfálticas aniónicas. Este tipo de emulsiones normalmente son poco utilizadas, utilizadas en aplicaciones muy específicas. (Tabla N° 8 del RTCA).

La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas de un galón (3,78 litros) de emulsión asfáltica. Siempre se recomienda tener otra muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo. El principio fundamental es el control de calidad por lo que se verifica el cumplimiento de los resultados de ensayo de la muestra contra el tipo de emulsión fabricada por el proveedor.

#### **Los ensayos especificados son:**

- Viscosidad Saybolt Furol (ASTM D244).
- Prueba de estabilidad a 24 h (ASTM D6930).
- Demulsibilidad (ASTM D6936).
- Prueba de carga eléctrica de partículas (ASTM D244).
- Prueba de tamizado (ASTM D6933).
- Destilación y aceite destilado. (ASTM D6997).
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70). Al residuo de la destilación.
- Penetración a 25 °C (ASTM D 5). Al residuo de la destilación.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo de la destilación.

La descripción de los métodos de ensayos se realiza para las especificaciones de emulsiones catiónicas.

## 4. **Asfaltos rebajados (Cutback).**

Los asfaltos rebajados actualmente tienen poca aplicación, anteriormente se utilizaba para producir mezclas frías; impermeabilizar y riegos de liga entre otras aplicaciones. Actualmente hay tres tipos para su uso, asfaltos rebajados de curado rápido (RC); asfaltos rebajados de curado medio (MC) y los asfaltos de curado lento (SC).

Las tablas N° 7, 8 y 9 muestran las especificaciones para asfaltos rebajados RC, MC y SC. (Las tablas N° 2, 3 y 4 del RTCA).

La cantidad de muestra necesaria para la realización de las pruebas: un galón (3,78 litros) de asfalto rebajado. Se recomienda tener una muestra adicional del mismo asfalto para utilizarlo como testigo. El principio fundamental es el control de calidad, por lo que se verifica el cumplimiento de los resultados de ensayo de la muestra contra el tipo de asfalto rebajado fabricado por el proveedor.

#### **Los ensayos especificados son:**

- Viscosidad cinemática a 60 °C (ASTM D2170).
- Punto de inflamación aparato de copa abierta (ASTM D3143).
- Destilación. (ASTM D402).
- Viscosidad absoluta a 60 °C (ASTM D2171). Al residuo de la destilación.
- Ductilidad a 25 °C (ASTM D113). Al residuo de la destilación.
- Solubilidad en tricloroetileno (ASTM D70).
- Contenido de agua (ASTM D95).

La descripción de los métodos de ensayos se realiza en las especificaciones para grado de viscosidad.

### 4.1 *Destilación de asfaltos rebajados.*

Este ensayo determina las fracciones de destilado en diferentes cortes de temperatura, normalmente se evalúan varios puntos, por ejemplo, para los asfaltos rebajados de curado rápido se evalúan cuatro puntos, el corte a 190 °C; 225 °C; 260 °C y 316 °C y el residuo final en el balón de destilación.

### 4.1 *Contenido de agua.*

Como parámetro de calidad y asumiendo que el asfalto rebajado está compuesto por asfalto y aceite como queroseno o diesel para fluidificarlo, se controla el contenido de agua presente en esa mezcla.

## 5. **Recomendaciones**

- Los reglamentos RTCA 75.01.22:047 y el RTCR 248:1997 son una guía de los ensayos que se deben realizar para un apropiado control de calidad, además de incluir los métodos de ensayo ASTM y los límites de especificación de los parámetros, es importante considerar que de esta forma se puede asegurar la calidad de los materiales

Tabla N° 7 Especificaciones de calidad para asfaltos rebajados de curado rápido (RC).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACIÓN							
			RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad cinemática a 60°C	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Aparato de copa abierta)	°C	D-3143	---	---	27+	---	27+	---	27+	---
Punto de Destilación Destilado: a 190°C a 225°C a 260°C a 316°C	% del volumen total destilado a 360°C	D-402	10	---	---	---	---	---	---	---
Residuo de destilación a 360°C	% volumen por diferencia		50	---	35	---	15	---	---	---
			70	---	60	---	45	---	25	---
			85	---	80	---	75	---	70	---
			55	---	65	---	75	---	80	---
Pruebas sobre el residuo de destilación										
Viscosidad a 60°C	Pa.s	D-2170	60	240	60	240	60	240	60	240
Ductilidad a 25°C	Cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---
Solubilidad en Tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Agua	%	D-95	---	0.2	---	0.2	---	0.2	---	0.2

Tabla N° 8 Especificaciones de calidad para asfaltos rebajados de curado medio (MC).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACIÓN									
			MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad cinemática a 60°C	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (aparato de copa abierta)	°C	D-3143	38	---	38	---	66	---	66	---	66	---
Prueba de destilación												
Destilado a 225°C	% del volumen destilado a 360°C	D-402	---	25	---	30	---	10	---	---	---	---
Destilado a 260°C			40	70	20	60	15	55	---	35	---	15
Destilado a 316°C			75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residuo sobre residuo de destilación	% volumen por diferencia		50	---	55	---	67	---	75	---	80	---
Pruebas sobre residuo de destilación												
Viscosidad a 60°C <sup>A</sup>	Pa.s	D-2170	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200
Ductilidad a 25°C	Cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100	---
Solubilidad en Tricloroetileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Agua	%	D-95	---	0.2	---	0.2	---	0.2	---	0.2	---	0.2

Tabla N° 9 Especificaciones de calidad para asfaltos rebajados de curado lento (SC).

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	DESIGNACIÓN							
			SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad cinemática a 60°C	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Punto de inflamación (Cleveland de copa abierta)	°C	D-92	66	---	79	---	93	---	107	---
Prueba de Destilación	% del volumen	D-402	10	30	4	20	2	12	---	5
Total destilado a 360°C										
Solubilidad en micrometileno	%	D-2042	99.0	---	99.0	---	99.0	---	99.0	---
Viscosidad cinemática sobre el residuo de la destilación a 60°C	mm <sup>2</sup> /s	D-2170	400	7000	800	10000	2000	16000	4000	35000
Residuo asfáltico										
Residuo de penetración 100	%	D-243	50	---	60	---	70	---	80	---
Ductilidad de penetración 100, 25°C	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---
Agua	%	D-95	---	0.5	---	0.5	---	0.5	---	0.5

asfálticos que se usan en la construcción de carreteras pavimentadas.

- Considerando los ensayos para caracterizar los materiales bituminosos se realizan las siguientes recomendaciones:

- Es necesario que la muestra de ensayo sea tomada y almacenada de forma apropiada ya que este aspecto influye significativamente en los resultados finales de ensayo.

- Considerar qué tipo de clasificación es requerida para evaluar el ligante asfáltico, cuando es un asfalto poco conocido es indispensable realizar todas las pruebas solicitadas por el reglamento, cuando es un material más conocido puede quedar a criterio del ingeniero de proyecto cuáles pruebas son las requeridas.

- Considerando los tiempos de rompimiento para las emulsiones asfálticas y los tiempos de curado para los asfaltos rebajados, almacenar la muestra por tiempos largos para realizar los ensayos pueden afectar los resultados de ensayo.

- Los resultados de ensayo deben realizarse por lo menos por duplicado e incluir la incertidumbre del resultado para compararlos contra los límites de especificación.

- Los resultados de carácter reológico son muy susceptibles a la temperatura, por lo que se recomienda cuidados especiales en el tratamiento previo de la muestra.

## 6. Referencias

Asphalt Institute: **Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave**. USA, 1996.

Asphalt Institute: **Mix Design methods for asphalt concrete, MS-2** USA, 1995.

Asphalt Institute: **Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, MS-22** USA, 1992.

Asphalt Institute: **Manual básico de emulsiones asfálticas, MS-19** USA, 1992.

La Gaceta N° 245, Costa Rica: **RTCA 75.01.22:047, ley 8489 productos de petróleo asfaltos especificaciones**, CR, 2005.

La Gaceta N° 236, Costa Rica: **RTCR 248, N° 26501 MIEC-MOPT productos de petróleo cementos asfálticos especificaciones**, CR, 1997.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D2493: Standard Viscosity-Temperature Chart for Asphalt**. 5 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D2171: Standard Test Method for Viscosity of Asphalt by Vacuum Capillary Viscosimeter**. 8 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM M 226-80: Viscosity-Graded Asphalt Cement**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D2170: Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalt (bitumens)**. 10 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D5: Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials**. 4 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D5: Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester**. 10 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D2042: Standard Test Method for Solubility of asphalts Materials in Trichoroethylene**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D1754: Standard Test Method for Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin-Film Oven Test)**. 6 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D113: Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D3143: Standard Test Method for Flash Point of Cutback Asphalt with Tag Open-Cup Apparatus**. 6 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D402: Standard Test Method for Destillation of Cut-back Asphaltic (Bituminous) Products**. 5 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D95: Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Destillation**. 6 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D244: Standard Test Method and Practices Emulsified Asphalts**. 13 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D6930: Standard Test Method for Settlement and Storage Stability of Emulsified Asphalts**. 2 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D6936: Standard Test Method for Determining Demulsibility of Emulsified Asphalts**. 2 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D6933: Standard Test Method for Oversized Particles in Emulsified Asphalts (Sieve Test)**. 2 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D6997: Standard Test Method for Distillation of Emulsified Asphalts (Sieve Test)**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D2872: Standard Test Method for Effect of Heat and Air in a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)**. 6 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D6521: Standard Test Method for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)**. 6 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D7175: Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)**. 16 páginas. Estados Unidos.

American Association of State Highway and Transportation Officials. **AASHTO T315: Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)**. 31 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D4402: Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using at Rotational Viscometer**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D70: Standard Test Method for Density of Semi-Solids Bituminous Materials (Pycnometer Method)**. 3 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **ASTM D4124: Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions**. 8 páginas. Estados Unidos.

American Standard for Testing and Materials. **UOP-Method -46: Paraffin Wax Content of Petroleum Oils and Asphalts**. 6 páginas. Estados Unidos.