

**DOCUMENTACION MEDIANTE AYUDAS EDUCATIVAS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS LÍQUIDOS.**

**ALVARO BURBANO DE LOS RIOS
DIEGO ANDRES ORTEGA**

**SAN JUAN DE PASTO
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
2001**

**DOCUMENTACION MEDIANTE AYUDAS EDUCATIVAS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO PARA EMULSIONES ASFÁLTICAS Y ASFALTOS LÍQUIDOS.**

**ALVARO BURBANO DE LOS RIOS
DIEGO ANDRES ORTEGA**

**Trabajo de grado para optar el titulo de
Ingeniero Civil**

**Director :
Ing. GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE**

**SAN JUAN DE PASTO
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
2001
NOTA DE ACEPTACION**

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO

JURADO

San Juan de Pasto, Octubre 20 de 2001

DEDICATORIA

ESTE TRABAJO DE GRADO VA DEDICADO A :

A DIOS

A MI FAMILIA :

ALVARO, GLORIA, PAULA, JOHANA.

A MI NOVIA LORENA

**Y A TODAS LAS PERSONAS
QUE CONFIARON EN MI.**

ALVARO ALEXANDER BURBANO DE LOS RIOS

DEDICATORIA

**ESTE TRABAJO LO DEDICO A MIS PADRES,
A MI HERMANO MAURICIO Y A LA MEMORIA
DE MI HERMANO VICTOR WILLIAM.**

DIEGO ANDRES ORTEGA P.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a :

GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE, Ingeniero Civil y Director de la investigación,
por su valiosa orientación en la realización de este proyecto.

DORIS MARTINEZ RICAURTE, Ingeniera Civil y Secretaria Académica
Facultad de Ingeniería, por su gran ayuda.

VICENTE LIMA ZARAMA, Ingeniero Civil y Profesor Universidad de Nariño, por su constante interés en este trabajo.

LUIS ALDEMAR BOLAÑOS, Ingeniero Civil y Decano Facultad de Ingeniería Civil Universidad del Cauca, por su gran colaboración.

LUIS BETANCUR, Ingeniero Civil y Jefe de Laboratorios, por el apoyo y contribución prestados a la realización de este trabajo.

HUGO LEON ARENAS, Ingeniero Civil, por su valiosa ayuda

OSCAR JAIME OROZCO, Geotecnologo, VICTORIA EUGENIA MUÑOS, Geotecnologa, LIZARDO FERNANDEZ GOVEGA , Geotecnologo, RICARDO ANTONIO VIVEROS, Auxiliar de Laboratorio, Laboratoristas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca, por el apoyo, dedicación, contribución y ayuda prestadas en la realización de los laboratorios.

CONTENIDO

	pag
INTRODUCCION.	1
1 RESUMEN EJECUTIVO.	2
2 ASFALTOS LIQUIDOS.	6
2.1 ENSAYOS REQUERIDOS PARA ASFALTOS LIQUIDOS.	7
2.1.1 Viscosidad cinemática E – 715.	7
2.1.2 Destilación asfaltos líquidos E – 723.	29
2.1.3 Penetración materiales asfálticos E – 706.	42
2.1.4 Ductilidad materiales asfálticos E – 702.	58
2.1.5 Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno E – 713.	65
2.1.6 Agua en materiales asfálticos E – 704.	75
2.1.7 Viscosidad saybolt de materiales asfálticos E – 714.	85
2.1.8 Peso especifico (método picnometro) E – 707.	91
3 EMULSIONES ASFALTICAS.	105

3.1	ENSAYOS REQUERIDOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS.	108
3.1.1	Viscosidad saybolt de emulsiones asfálticas E – 763.	109
3.1.2	Agua en emulsiones asfálticas E – 761.	114
3.1.3	Sedimentación en las emulsiones asfálticas E – 764.	119
3.1.4	Destilación de emulsiones asfálticas E – 762.	124
3.1.5	Tamizado de emulsiones asfálticas E – 765.	130
3.1.6	Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas E – 766.	134
3.1.7	Estabilidad de las emulsiones asfálticas E – 770.	139
3.1.8	Carga de partícula de las emulsiones asfálticas E – 767.	144
3.1.9	pH de las emulsiones asfálticas E – 768.	147
3.1.10	Ensayos a residuos de la destilación.	151
3.1.10.1	Penetración E – 706.	151
3.1.10.2	Ductilidad E – 702.	151
3.1.10.3	Solubilidad en tricloroetileno E – 713.	151
4	METODO PROPUESTO DE ILLINOIS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRIO EMULSION - AGREGADO (MARSHALL MODIFICADO) .	152
5	CONCLUSIONES	165
6	REVISION BIBLIOGRAFICA.	168

GLOSARIO

ALQUITRANES : Son betunes obtenidos de la destilación destructiva de carbones fofiles, maderas u otras sustancias orgánicas.

BETUNES : Son mezclas de hidrocarburos de origen natural o pirogenico o combinación de ambos generalmente acompañado de sus derivados no metálicos.

BREA : Son betunes sólidos o semisolidos obtenidos de la destilación del alquitrán.

CRISOL : Recipiente de fondo estrecho que se puede cerrar con una tapadera. La mayoría de los crisoles son de porcelana vidriada, generalmente se utilizan para fundir.

DENSIDAD : Es la masa por unidad de volumen.

DUCTILIDAD : Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin romperse.

ELECTRODO : Conductor que comunica los polos de un electrolito con el circuito por extensión, todo elemento terminal de un circuito.

ESPATULA : Herramienta formada por una lamina delgada, plana, ancha y de borde recto, de material flexible (acero, madera, plástico, etc.), que se emplea para extender, mezclar, alisar y trabajar en general, sustancias semilíquidas.

LIQUIDO NEWTONIANO : Es el líquido en el cual la tasa de corte es proporcional al esfuerzo de corte.

MATERIALES BITUMINOSOS : Son los materiales que contiene betunes.

MATRAZ : Vaso de vidrio generalmente de forma cónica con cuello resto de longitud y anchura variables.

PESO UNITARIO : Es el peso por unidad de volumen.

PICNOMETRO : Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica con boca esmerilada.

PROBETA : Recipiente de vidrio de forma cilíndrica, con graduaciones visibles para medir o transvasar líquidos.

REBABA : Exceso de material que puede desprenderse fácilmente por una acción mecánica.

RETORTA : Recipiente de metal, vidrio, etc. de fondo redondeado y cuello alargado y curvado hacia abajo que se emplea en procesos de destilación y calentamiento de materiales sólidos.

TAMIZ : Instrumento que consiste en un marco de metal generalmente circular, dotado de una tela metálica con un tamaño de orificio determinado.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de grado es documentar mediante material audiovisual y escrito los ensayos de laboratorio para emulsiones asfálticas y asfaltos líquidos sobre las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías de 1996, que facilite la utilización práctica, disponible en estas normas. El presente trabajo se desarrolló mediante el montaje y ejecución detallada, de cada uno de los ensayos requeridos para asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas por las normas INVIAS 1996, además del método propuesto de Illinois para el diseño de mezclas en frío emulsión - agregado. Para realizarlo se utilizaron 5 ½ horas de filmación repartidas en 4 cassettes vídeo 8 Panasonic de 90 min. cada uno, editadas en 2 vídeo - cintas de formato VHS de 2 horas cada una, en forma clara, precisa y mostrando los aspectos más importantes de cada ensayo, además de guías escritas y formatos para la realización de los laboratorios. Así pues, el trabajo de grado DOCUMENTACION MEDIANTE AYUDAS EDUCATIVAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EMULSIONES ASFALTICAS Y ASFALTOS LÍQUIDOS, es una ayuda para los estudiantes de Ingeniería civil que lo utilizarán como soporte de formación continuada, para así suplir las falencias presentadas por la falta de equipos necesarios en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería para la realización de los laboratorios.

ABSTRACT

The objective of this degree work is to document by means of audiovisual and written material the laboratory rehearsals for asphaltic emulsions and liquid asphalts on the general specifications of construction of highways of the National

Institute of Roads of 1996, that it facilitates the use practices, available in these norms. The present work you development by means of the assembly and detailed execution, of each one of the rehearsals required for liquid asphalts and asphaltic emulsions by the norms INVIAS 1996, besides the proposed method of Illinois for the design of mixtures in cold emulsion - attaché. To carry out them 5 ½ hours of filming they were used distributed in 4 cassettes videotape 8 Panasonic of 90 min. each one, published in 2 videotape - format tapes VHS of 2 hours each one, in form white, precise and showing the aspects but important of each rehearsal, besides written guides and formats for the realization of the laboratories. Therefore, the work of degree DOCUMENTATION BY MEANS OF EDUCATIONAL HELP OF REHEARSALS OF LABORATORY FOR ASPHALTIC EMULSIONS AND LIQUID ASPHALTS, is a help for the students of civil Engineering that used it like support of continuous formation, stops this way to replace the falencias presented by the lack of necessary teams in the laboratories of the Ability of Engineering for the realization of the laboratories.

INTRODUCCION

El área de pavimentos es una parte muy importante en la ingeniería civil ya que dentro de la práctica profesional, uno de los campos de más aprovechamiento laboral es la construcción e interventoría de vías terrestres, en los cuales hay que prestar gran importancia al estudio de los materiales utilizados en dichos

procesos, algunos de estos materiales son: las emulsiones asfálticas y los asfaltos líquidos elementos indispensables en la formación de la carpeta asfáltica. Los procesos anteriormente mencionados se encuentran regidos por los requerimientos técnicos que formula el Instituto Nacional de Vías, a través de las normas INVIAS 1996, las cuales se encargan de dar especificaciones que deben cumplir los materiales de construcción para poder ser utilizados en la misma. Este trabajo de grado presenta por medio de material audiovisual y escrito los ensayos de laboratorio requeridos para cumplir con las exigencias pedidas por las normas del Instituto Nacional de Vías de 1996 sobre emulsiones asfálticas y asfaltos líquidos

1 RESUMEN EJECUTIVO

Dada la falta de equipos de laboratorio, en la Universidad de Nariño en el área de pavimentos, se vio la necesidad de dotar a la Facultad de material audiovisual y escrito, para una mejor enseñanza y comprensión de las prácticas de laboratorio sobre asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas que exige el Instituto Nacional de Vías con las normas INVIAS 1996. Este trabajo se desarrolló mediante el montaje y ejecución detallada, de cada uno de los ensayos requeridos a asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas, además del método Illinois para el diseño de mezclas en frío.

En cada uno de los ensayos realizados se realizó una filmación y descripción en forma clara y entendible de cada uno de los equipos y materiales usados en el laboratorio y de los procedimientos necesarios para su ejecución.

Se realizaron 5 ½ horas de filmación, editadas en 2 vídeo-cintas de formato VHS de 2 horas cada una, en forma clara, precisa y mostrando los aspectos más importantes de cada ensayo.

La filmación de los ensayos se hizo en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca; dejando una copia de los videos en formato VHS, en esta universidad.

La presentación de este trabajo de grado, permite a los estudiantes obtener una mejor enseñanza y lograr que tengan un conocimiento integral en el área de pavimentos y en la construcción de vías terrestres, permitiendo que la formación de las siguientes promociones de ingenieros civiles no presente falencias en la vida práctica y puedan salir de la universidad mejor preparados para afrontar problemas reales en el campo de la construcción, diseño e interventoría de vías terrestres.

En los videos se presenta para los ensayos que lo exigen, seguimientos a los cálculos que se hacen, posteriormente a la realización de los ensayos mediante ejemplos. También se presenta una guía del equipo de seguridad necesario para la ejecución de los laboratorios

La documentación escrita que entregamos servirá como guía, para posteriores ejecuciones de pruebas a asfaltos líquidos y a emulsiones asfálticas y para diseños de mezclas en frío con el método de Marshall Modificado (Método de Illinois).

Los asfaltos utilizados en la construcción de vías terrestres son producto de la destilación de crudos de petróleo. El asfalto se presenta en gran variedad de tipos y grados desde duros y frágiles hasta muy fluidos; el cemento asfáltico es la base de todos estos productos y puede volverse fluido y manejable para usos constructivos por calentamiento, por adición de un solvente o por su emulsificación. Cuando a un asfalto base le adicionamos un solvente de petróleo

como nafta o kerosene, el producto se llama asfalto rebajado, asfalto liquido o *cutback*.

Los ensayos que se realizaron sobre asfaltos líquidos son:

- VISCOCIDAD CINEMATICA E - 715
A 60° C
- PRUEBA DE DESTILACION E - 723
RESIDUO DE DESTILACION A 360 ° C
% POR VOLUMEN POR DIFERENCIA
PRUEBA EN EL RESIDUO DE DESTILACION:
- PENETRACIÓN a 25 °C 100g, 5 seg, 0,1 mm E - 706
- DUCTILIDAD A 25 °C E - 702
- SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO E - 713
- CONTENIDO DE AGUA E - 704
- VISCOCIDAD SAYBOLT FUROL E - 714
- PESO ESPECIFICO E - 707

Cuando el asfalto se rompe en partículas minúsculas y se dispersa en agua por medio de un emulsificante, se convierte en una emulsión asfáltica. Las emulsiones asfálticas se componen de una fase continua (agua) y una fase discontinua (asfalto). La fabricación de una emulsión se realiza dispersando por acción mecánica asfalto en una fase acuosa, pero esta dispersión es muy inestable ya que las partículas se agrupan hasta formar 2 fases, por ello para lograr que las partículas permanezcan dispersas se debe recurrir a agentes químicos denominados emulsificantes o emulgentes. Su funcionamiento en la mezcla empieza con la rotura de la emulsión, de esta forma se pueden aplicar y usar un producto de elevada viscosidad bajo una forma totalmente líquida.

Los ensayos que se realizaron sobre emulsiones asfálticas son:

- VISCOCIDAD SAYBOLT FUROL E - 763

- CONTENIDO DE AGUA EN EL VOLUMEN E - 761
- ESTABILIDAD ALMECENAMIENTO E - 764
 - SEDIMENTACION A LOS 7 DIAS
- DESTILACION E - 762
 - CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL
 - CONTENIDO DE DISOLVENTES
- TAMIZADO E - 765
 - RETENIDO T 20
- ROTURA
 - DIOCTILSULFOSUCCINATO SODICO % E - 766
 - MEZCAL CON CEMENTO % E - 770
- CARGA DE PARTICULA E - 767
- pH E - 768

- RESIDUOS DE LA DESTILACION
- PENETRACION (25° C, 100 g, 5 seg.) 0,1 mm E - 706
- DUCTILIDAD (25 ° C, 5 cm-m) cm E - 702
- SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO % E - 713
- PESO ESPECIFICO E - 707

Las mezclas asfálticas es un capítulo complejo del área de pavimentos en el diseño y construcción de carreteras. Las mezclas asfálticas están conformadas por la unión de áridos minerales y ligante bituminoso. Para el diseño de mezclas en frío emulsión-agregado se realizo el ensayo para el Método de Illinois o Marshall Modificado.

- DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO MARSHALL MODIFICADO

2. ASFALTOS LIQUIDOS

Una forma de disminuir la viscosidad de los asfaltos para su aplicación, es disolviéndolos con un solvente adecuado dando origen a los llamados asfaltos diluidos o líquidos (cut back).

Estos materiales, se preparan a partir de asfaltos y solventes de petróleo de distinta volatilidad. Su funcionamiento en las mezclas en frío, el solvente se evapora y el asfalto adquiere su consistencia original, cementando a los agregados pétreos.

Existen tres tipos de asfaltos diluidos según la mayor o menor volatilidad del solvente utilizado. Dentro de cada uno de los tipos, se dispone de distintos grados, de acuerdo al contenido de asfalto en el diluido.

La diferente composición de los asfaltos líquidos, responde a los distintos tipos de aplicación en que han de ser utilizados.

Los tres tipos fundamentales de asfaltos líquidos, se denominan de curado rápido, medio y lento, en razón de la diferente volatilidad del solvente empleado.

Composición de los distintos asfaltos líquidos:

RC : Curado rápido : Asfalto 80 - 120 + Nafta

MC : Curado medio : Asfalto 120 - 150 + kerosene

SC : Curado lento : Asfalto flotación 20 - 110 seg. + gas oíl

2.1 ENSAYOS REQUERIDOS PARA ASFALTOS LIQUIDOS

La información de los siguientes laboratorios:

Viscosidad cinemática a 60° c	E - 715
Prueba de destilación	E - 723
residuo de destilación a 360 ° c	
% por volumen por diferencia	
Prueba en el residuo de destilación:	
Penetración a 25 °c 100g, 5 seg, 0,1 mm	E - 706
Ductilidad a 25 °c	E - 702
Solubilidad en tricloroetileno	E - 713
Contenido de agua	E - 704
Viscosidad saybolt furol	E - 714
Peso específico	E - 707

Fue tomada de las normas INVIAS 1996.

2.1.1 Viscosidad cinemática de asfaltos

I.N.V. E - 715

2.1.1.1. Objeto

1.1 Este método cubre procedimientos para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos (bitúmenes), aceites para carreteras, residuos de destilación de asfaltos líquidos (bitúmenes), todos a 60°C (140°F) y de asfaltos sólidos a 135°C (275°F) (Nota 1), en el rango de 6 a 100.000 cSt

1.2 Los resultados de este método pueden emplearse para calcular la viscosidad cuando el peso unitario del material ensayado a la temperatura de ensayo es conocido o puede determinarse. Véase el anexo A.1 para el método del cálculo.

Nota 1: El método es también adecuado para emplearlo a otras temperaturas y a viscosidades cinemáticas más bajas, pero la precisión se basa en determinaciones sobre asfaltos líquidos y aceites de carreteras a 60°C (140°F) y sobre cementos asfálticos a 135°C (275°F), únicamente en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

2.1.1.2. Resumen del método

2.1 En este método se mide el tiempo necesario para que un volumen fijo de líquido fluya, por capilaridad, a través de un viscosímetro capilar de vidrio, bajo una cabeza exactamente reproducible y a una temperatura muy bien controlada. La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

2.1.1.3. Definiciones

3.1 Viscosidad cinemática.- Es la relación entre la viscosidad dinámica o absoluta y la densidad de un líquido; es una medida de la resistencia al flujo bajo la acción de la gravedad. La unidad SI es m^2/s ; es más conveniente, para uso práctico, el submúltiplo mm^2/s . La unidad cgs es $1\text{ cm}^2/s$ y se llama Stoke (St).

La unidad que se acostumbra a utilizar es 1 centistoke ($1\text{ cSt} = 10^{-2}\text{ St}$) que equivale a $1\text{ mm}^2/s$.

3.2 Densidad.- Es la masa por unidad de volumen del líquido. La unidad cgs de densidad es 1 g/cm^3 y la unidad SI de densidad es 1.000 kg/m^3 .

3.3 Viscosidad dinámica o absoluta.- La relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte se llama el coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. La unidad cgs es $1\text{ g/cm}\cdot\text{s}$ ($1\text{ dina}\cdot\text{s/cm}^2$) y se llama un Poise (P). La unidad SI de la viscosidad es $1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ($1\text{ N}\cdot\text{s/m}^2$) y es equivalente a 10P. Frecuentemente, se usa el centipoise ($1\text{ cP} = 10^{-2}\text{ P}$)

3.4 Líquido Newtoniano.- Es un líquido en el cual la tasa de corte es proporcional al esfuerzo de corte. La relación constante del esfuerzo de corte a la tasa de corte es la viscosidad del líquido. Si la relación no es constante, el líquido no es newtoniano.

2.1.1.4. Equipo

4.1 Viscosímetros de tipo capilar, hechos de vidrio de borosilicato, anillado, adecuado para este ensayo; en el anexo A.2 se describen los siguientes:

Viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos.

Viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs

Viscosímetro Lantz-Zeitfuchs

Viscosímetro BS/IP/RF de tubo U modificado para flujo invertido.

4.2 Los viscosímetros calibrados se pueden obtener de proveedores comerciales. Los detalles relacionados con la calibración de los viscosímetros se dan en el anexo A.3.

4.3 Termómetros.- Se pueden utilizar termómetros calibrados de vidrio con líquido, con una precisión, después de la corrección, de 0.02°C (0.04°F) o cualquier otro dispositivo termométrico de igual precisión. Los termómetros para la viscosidad cinemática ASTM 47C y 47F e IP 35C y 35F son adecuados para la temperatura de 60°C (140°F) y los termómetros ASTM para viscosidad cinemática 110C y 110F son adecuados para emplearlos a 135°C (275°F).

Los termómetros especificados están normalizados a "inmersión total", lo cual significa inmersión hasta la parte superior de la columna de mercurio, con el resto del vástago y con la cámara de expansión en la parte superior del termómetro expuesto a la temperatura ambiente. No es recomendable la práctica de sumergir completamente el termómetro. Cuando los termómetros están completamente sumergidos, deben determinarse y aplicarse correcciones para cada termómetro individual basadas en la calibración bajo condiciones de inmersión completa. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su empleo, la presión del gas

en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas más altas o bajas en el termómetro. Es necesario que los termómetros de líquido en vidrio sean periódicamente recalibrados usando las técnicas dadas en el método ASTM E-77 y que las correcciones sean ajustadas cuando sea necesario, para estar de acuerdo con cualquier cambio en la lectura de temperatura. El termómetro deberá leerse con aproximación de 0.01°C (0.02°F). Los nuevos pueden requerir inicialmente una verificación cada semana. En el método ASTM E-77 se utiliza un procedimiento que se basa en cambios en el punto de congelación.

4.4 Baño. Debe ser adecuado para la inmersión del viscosímetro, y tal que la reserva de líquido o la parte superior del capilar, cualquiera que esté más elevada, esté al menos a 20 mm por debajo del nivel superior del baño y con aditamentos para visibilidad del viscosímetro y del termómetro. Deberán proporcionarse soportes firmes para el viscosímetro o éste podrá ser una parte integral del baño. La eficiencia de la agitación y el balance entre la pérdida y el suministro de calor deben ser tales que la temperatura del medio del baño no cambie en más de $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{F}$) sobre la longitud del viscosímetro, o de viscosímetro a viscosímetro en las diferentes posiciones del baño a 60°C (140°F).

Nota 2: El agua destilada es un líquido adecuado para el baño, cuando se hagan determinaciones a 60°C (140°F); para las determinaciones a 135°C (275°F), se ha encontrado adecuado el aceite blanco USP con un punto de ignición por encima de 215°C (420°F). El punto de ignición se determina de acuerdo con el método INV E - 709.

Nota 3: El baño deberá ser capaz de mantener la temperatura a $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{F}$) para especificaciones de compra y a $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.10^{\circ}\text{F}$) para fines de operación real.

4.5 Cronómetros.- Un reloj de detención (cronómetro) u otro dispositivo de tiempo activado con resorte, graduado en divisiones de 0.1 segundo o menos y con precisión de 0.05% cuando se ensaya a intervalos no menores de 15 minutos.

4.6 Se pueden usar dispositivos de cronometraje eléctricos únicamente en circuitos cuyas frecuencias sean controladas hasta una precisión de 0.01% o mejores.

Cuando se empleen dispositivos eléctricos de control de tiempo, deben evitarse corrientes alternas cuyas frecuencias sean intermitentes y no se controlen continuamente, como las proporcionadas por algunos sistemas de suministro público de corriente, ya que pueden causar grandes errores, particularmente en cortos intervalos de tiempo.

2.1.1.5. Preparación de la muestra

Para disminuir la pérdida de los constituyentes volátiles y para obtener resultados reproducibles, procédase como sigue:

5.1 Procedimientos para asfaltos líquidos y aceites para carreteras. Permítase que las muestras, selladas tal como se recibieron, alcancen la temperatura ambiente.

Abrase el recipiente que contiene la muestra y mézclese completamente la misma, agitándola durante 30 segundos, teniendo el cuidado de evitar que se entrape de aire. Si es muy viscosa para tal agitación, colóquese la muestra contenida en el recipiente sellado, en un baño u horno mantenido a $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($145 \pm 5^{\circ}\text{F}$) hasta que se vuelva suficientemente líquida para agitarla.

Cárguese inmediatamente el viscosímetro o si el ensayo se va hacer en un tiempo posterior, viértanse aproximadamente 20 ml en uno o más recipientes limpios, secos, que tengan una capacidad de aproximadamente 30 ml y séllese herméticamente.

Para materiales con viscosidades cinemáticas a 60°C (140°F) por encima de 800 cSt, caliéntese la muestra de 20 ml en el recipiente sellado en un horno o en un baño mantenido a $63 \pm 3^\circ\text{C}$ ($145 \pm 5^\circ\text{F}$) hasta que esté suficientemente líquida para una transferencia conveniente dentro del viscosímetro. Tal calentamiento no deberá exceder de 30 minutos.

5.2 Procedimiento para el elemento asfáltico.- Caliéntese la muestra con cuidado para evitar sobrecalentamiento local hasta que llegue a ser suficientemente fluida para vaciarla, agitando ocasionalmente para ayudar a la transferencia del calor y asegurar la uniformidad.

Transfiérase un mínimo de 20 ml en un recipiente adecuado y caliéntese a $135 \pm 5.5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$), agitando constantemente para evitar sobrecalentamiento local y teniendo cuidado de evitar el entrapo de aire.

2.1.1.6. Procedimiento

6.1 Los detalles específicos de la operación varían para los diferentes tipos de viscosímetros. Véanse las descripciones detalladas de operación en el Anexo A.2, de acuerdo al tipo de viscosímetro escogido. En todos los casos, sin embargo, debe seguirse el procedimiento general que se describe en los numerales 6.2 a 6.8.

6.2 Manténgase el baño a la temperatura de ensayo con tolerancia de $\pm 0.06^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.10^{\circ}\text{F}$). Aplíquense las correcciones necesarias a todas las lecturas de los termómetros, en caso de haberlas.

6.3 Escójase un viscosímetro limpio y seco, que dé tiempo de flujo mayor de 60 segundos y precaliéntese a la temperatura de ensayo.

6.4 Cárguese el viscosímetro de la manera indicada por el diseño del instrumento, como se indica en el anexo A.2.

6.5 Déjese que el viscosímetro cargado permanezca en el baño suficiente tiempo para alcanzar la temperatura de ensayo, como se indica en el anexo A.2.

6.6 Iníciase el flujo del asfalto en el viscosímetro como se detalla en el anexo A.2

6.7 Mídase con tolerancia de 0.1 segundos, el tiempo requerido para que el borde guía del menisco pase de la primera marca de tiempo hasta la segunda. Si este tiempo de flujo es menor de 60 segundos escójase un viscosímetro de diámetro capilar más pequeño y repítase la operación.

6.8 Cuando concluya el ensayo, límpiase completamente el viscosímetro mediante varios enjuagues con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente volátil. Séquese el tubo pasando una corriente lenta de aire seco y filtrado a través del capilar durante dos minutos, o hasta que la última traza de solvente sea removida. Límpiase periódicamente el viscosímetro con ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuáguese completamente con agua destilada y con acetona libre de residuos y séquese con aire filtrado y seco.

2.1.1.7. Cálculos

Calcúlese la viscosidad cinemática con tres (3) cifras significativas empleando la siguiente ecuación:

Viscosidad cinemática en cSt = Ct

Donde:

C = Constante de calibración del viscosímetro, cSt/s,

t = Tiempo de flujo, s.

2.1.1.8. Informe

8.1 Infórmese siempre la temperatura de ensayo con el resultado, por ejemplo:

viscosidad cinemática a 60°C (140 °F)= 75.6 cSt.

2.1.1.9. Precisión

9.1 Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad obtenidos por este método se dan en la Tabla No. 1.

TABLA No. 1

ACEPTABILIDAD DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO PARA LA VISCOSIDAD CINEMATICA

Nota: Los valores dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los materiales y condiciones de

ensayo descritos en la columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deberán ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente.

MATERIAL Y TIPO DE INDICE	COEFICIENTE DE VARIACION (% DE LA MEDIA) (1)	DIFERENCIA ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS DEL ENSAYO (% DE LA MEDIA) (1)
<u>Precisión de un operario solo</u>		
Cemento Asfáltico a 135°C (275°F)	0.64	1.8
Asfalto líquido a 60°C (140°F):		
Por debajo de 3.000 cSt	0.53	1.5
De 3.000 a 6.000 cSt	0.71	2.0
Por encima de 6.000 cSt	3.2	8.9
<u>Precisión en varios laboratorios</u>		
Asfalto sólido a 135°C (275°F)	3.1	8.8
Asfalto líquido a 60°C (140°F):		
Por debajo de 3.000 cSt	1.06	3.0
De 3.000 a 6.000 cSt(2)	3.11	9.0
Por encima de 6.000 cSt(2)	3.6	10.0

(1) Representan el 15% y 20% de D de los límites descritos en la Norma AASHTO R2.

(2) Con base en menos de 30 grados de libertad.

ANEXOS

A.1 CALCULO DE LA VISCOSIDAD DINAMICA DE UN LIQUIDO NEWTONIANO

La viscosidad dinámica de un líquido newtoniano se calcula a partir de su viscosidad cinemática multiplicada por la densidad del líquido a la temperatura de ensayo.

Para asfaltos a 135°C (275°F), la viscosidad puede determinarse convenientemente a partir del peso específico a 25/25°C (77/77°F) multiplicando por un factor 0.934 g/cm³; o a partir del peso específico a 15.5/15.5°C (60/60°F) multiplicando por un factor 0.931 g/cm³. Estos factores se basan en un coeficiente promedio de expansión para el cemento asfáltico de 0.00061/°C (0.00034/°F).

Cuando no se conoce el peso específico del asfalto, se puede obtener satisfactoriamente la viscosidad dinámica a 135°C (275°F) multiplicando la viscosidad cinemática a 135°C (275°F) por un peso unitario asumido de 0.948 g/cm³. Este valor de peso unitario es equivalente a un peso específico de 1.015 a 25/25°C (77/77°F). Ensayos sobre un gran número de asfaltos indican que el error introducido por esta suposición no excederá de ± 3% .

A.2 VISCOSIMETROS DE FLUJO INVERTIDO

A.2.1 Objeto

Los viscosímetros de flujo invertido para líquidos transparentes y opacos incluyen los viscosímetros Cannon-Fenske, el de brazo transversal Zeitfuchs, BS/IP/RF y el Lantz-Zeitfuchs. A diferencia del viscosímetro Ostwald modificado y los de nivel suspendido, la muestra de líquido fluye dentro de un bulbo para medir el tiempo, el cual no había sido humedecido anteriormente por la muestra, permitiendo así el cronometraje de líquidos cuyas películas delgadas sean opacas. Los viscosímetros de flujo invertido se emplean en la medida de viscosidades cinemáticas de líquidos opacos y transparentes hasta de 100.000 cSt.

A.2.2 Equipo

En este método, el intervalo de viscosidad cinemática se basa en un tiempo de flujo mínimo de 60 s, a diferencia de otros ensayos en donde los rangos de viscosidad se basan en un tiempo de flujo mínimo de 200 s.

A.2.3 Instrucciones de operación

En el numeral 6 se ha descrito un procedimiento normalizado de operación. Algunas instrucciones adicionales de operación para viscosímetros de flujo invertido, se muestran rápidamente en los párrafos siguientes, con énfasis en procedimientos que son específicos para un instrumento en particular o para este grupo de instrumentos:

Escójase un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s.

Cárguese el viscosímetro de la manera indicada por el diseño del instrumento; esta operación debe estar de acuerdo con la empleada en la calibración del mismo. Si la muestra puede contener hilachas, partículas sólidas, etc, fíltrese como se indica en el método D-445 de la ASTM.

- Para cargar el viscosímetro opaco Cannon-Fenske, inviértase el viscosímetro y aplíquese succión al tubo L, sumergiendo el tubo N en la muestra de líquido y llenando el bulbo D hasta la marca de llenado G. Límpiase el exceso de muestra del tubo N y colóquese el viscosímetro en posición normal. Móntese el viscosímetro en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo L. Cuando la muestra pase a través de R, llénese el bulbo A aproximadamente hasta la mitad, y deténgase el flujo conectando un tapón en el tubo L.
- Móntese el viscosímetro Zeifuchs de brazo transversal en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo N. Introdúzcase muestra a través del tubo N, teniendo cuidado de no humedecer los lados de dicho tubo, dentro del brazo transversal D hasta que el borde guía esté dentro de 0.5 mm de la marca de llenado G sobre el tubo sifón.
- Montése el viscosímetro Lantz-Zeifuchs en el baño de temperatura constante, manteniendo vertical el tubo N. Introdúzcase muestra suficiente a través del tubo N hasta llenar completamente el bulbo D, rebosando ligeramente dentro del bulbo de rebose K. Si la muestra está a una temperatura por encima de la del ensayo, espérense 15 minutos para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño y agréguese más muestra para que rebose ligeramente dentro del bulbo K.
- Móntese el viscosímetro BS/IP/RF en el baño de temperatura constante manteniendo vertical el tubo L. Viértase la muestra a través del tubo N hasta un punto exactamente por encima de la marca de llenado G; permítase que la muestra fluya libremente a través del capilar R, teniendo cuidado de que la columna del líquido permanezca sin romperse, hasta que el menisco inferior este cerca

de 5 mm por debajo de la marca de llenado H y deténgase entonces su flujo cerrando el tubo de medición de tiempo con un tapón de corcho o de caucho en el tubo L. Si fuere necesario, agréguese más líquido para llevar el menisco superior ligeramente por encima de la marca G. Después de permitir que la muestra alcance la temperatura del baño (véase párrafo siguiente) y que cualquier burbuja de aire alcance la superficie, suéltese suavemente el tapón permitiendo que la muestra fluya hasta la marca de llenado inferior H y deténgase el flujo de nuevo. Remuévase el exceso de muestra por encima de la marca de llenado G, insertando la pipeta especial hasta que su corcho permanezca sobre la parte superior del tubo N y aplicando suavemente succión hasta que el aire suba a través de la pipeta. El menisco superior deberá coincidir con la marca G.

Permita que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante el tiempo suficiente que asegure que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (mínimo 10 minutos, máximo 30 minutos).

Para los viscosímetros Cannon-Fenske y BS/IP/RF, remuévase el tapón en el tubo L y déjese que la muestra fluya por gravedad. Para el viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs, aplíquese un ligero vacío al tubo M o una ligera presión al tubo N para hacer que el menisco se mueva sobre el tubo sifón y alrededor de 30 mm por debajo del nivel del tubo D en el capilar R; de esta forma se inicia el flujo por gravedad. Para el viscosímetro Lantz-Zeitfuchs, aplíquese un ligero vacío al tubo M (o presión al tubo N con el tubo K cerrado) hasta que el menisco inferior esté opuesto a la marca inferior de tiempo E; déjese que la muestra fluya por gravedad.

Mídase, con una precisión de 0.1 s, el tiempo requerido para que el menisco pase de la marca de tiempo a la marca F, tal como se indica en el numeral 4.

Calcúlese la viscosidad de acuerdo al numeral 7 de este método.

A.3 CALIBRACION DE VISCOSIMETROS

A.3.1 Objeto

Este anexo describe los materiales y procedimientos usados para calibrar, o verificar la calibración, de los viscosímetros empleados en este método.

A.3.2 Materiales de referencia

Aceites de viscosidad normal de conformidad con las Normas ASTM, que tengan aproximaciones las viscosidades cinemáticas mostradas en la Tabla No. 2. Los valores certificados de viscosidad cinemática que se establezcan, son suministrados con cada muestra.

A.3.3 Calibración

Calibración del viscosímetro de rutina utilizando líquidos de viscosidad normal: Escójase de la Tabla No. 2 un líquido estándar que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 s a la temperatura de calibración, preferiblemente 37.8°C (100°F). Determinése el tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s mediante el procedimiento descrito en el numeral 6 y calcúlese la constante del viscosímetro C, en la siguiente forma.

$$C = V/t$$

Donde:

V = Viscosidad para el líquido estándar, cSt

t = Tiempo de flujo s.

La constante del viscosímetro es independiente de la temperatura para los viscosímetros Zeitfuchs de brazo transversal Lantz-Zeitfuchs y BS/IP/RF de tubo en U.

El viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos tiene un volumen de muestra cargada fijo a la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensayo difiere de la del llenado, la constante del viscosímetro se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Constante del viscosímetro, } C_t = C_o [1 + F (T_t - T_f)]$$

Donde:

C_o = Constante del viscosímetro cuando se llena y ensaya a la misma temperatura.

T = Temperatura.

F = Factor de dependencia de la temperatura (véase párrafo siguiente).

t, f = Subíndices de valores a la temperatura de ensayo y la temperatura de llenado respectivamente.

Calcúlese el factor que hace que la constante dependa de la temperatura, mediante la siguiente expresión:

$$F = 4 \alpha V / \pi d^2 h \\ = [4V (\rho_f - \rho_t)] / [\pi d^2 h \rho_t (T_t - T_f)]$$

Donde:

V = Volumen de carga, cm^3

d = Diámetro promedio, en cm, del menisco, en el recipiente superior.

h = Cabeza promedio guía, cm

α = Coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensayo entre la temperatura de llenado y la de ensayo

ρ = Densidad, g/cm³

t,f= Como se definieron antes

Si el viscosímetro se usa en un sitio diferente al del laboratorio de calibración, la constante C debe corregirse debido a la diferencia de la aceleración de la gravedad g, de la siguiente manera:

$$C_2 = (g_2/g_1) \times C_1$$

Donde:

C_2 = Constante de calibración en el laboratorio de ensayo.

C_1 = Constante de calibración en el laboratorio de calibración.

g_2 = Aceleración de la gravedad en el laboratorio de ensayo

g_1 = Aceleración de la gravedad en el laboratorio de calibración.

Los certificados para viscosímetros deben establecer el valor de g en el sitio del laboratorio de calibración. La falta de corrección de la gravedad puede ocasionar errores del 0.2%.

Calibración de viscosímetros de rutina por medio del viscosímetro estándar: Escójase cualquier aceite de petróleo que tenga un tiempo de flujo de por lo menos 200 s. Escójase también un viscosímetro estándar de constante C conocida. Este viscosímetro puede ser un viscosímetro patrón que ha sido calibrado por medio de un ensamblaje con viscosímetros de diámetros sucesivamente mayores, iniciando con agua destilada a la viscosidad básica normal (véase método ASTM D-2162) o uno de rutina del mismo tipo que ha sido calibrado mediante comparación con el viscosímetro patrón.

Móntese el viscosímetro estándar conjuntamente con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño y determínese el tiempo de flujo del aceite mediante el procedimiento descrito en el numeral 6.

Calcúlese la constante C_1 como sigue (Nota 5).

$$C_1 = (t_2 \times C_2)/t_1$$

Donde:

C_1 = Constante C del viscosímetro de rutina

t_1 = Tiempo de flujo con aproximación a 0.1s en el viscosímetro de rutina.

C_2 = Constante C del viscosímetro estándar

t_2 = Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s en el viscosímetro estándar.

Nota 5: Los aceites patrones de viscosidad se consiguen en recipientes de una pinta en the Cannon Instrument Co., PO.Box 16, State Collegue, Pa 16801.

TABLA No.2.

ESTANDARES DE VISCOSIDAD DE ACEITES

ESTANDARES DE VISCOSIDAD DE ACEITES ASTM	VISCOSIDAD CINEMATICA APROXIMADA, cSt		
	a 37.8°C (100°F)	a 50°C (122°F)	a 99°C (210°F)
S 60	60	...	...
S 200	200	...	...
S 600	600	280	32
S 2000	2000	...	...
S 8000	8000	...	...
S 30000	27000	11000	...

2.1.1.10. Correspondencia con otras normas

AASTHO	T-201
ASTM	D-2170

2.1.2 Destilación de asfaltos líquidos

I.N.V. E - 723

2.1.2.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse al efectuar el ensayo de destilación de los asfaltos líquidos para definir su clasificación.

1.2 Este método proporciona información acerca de los componentes volátiles de los asfaltos líquidos y facilita un medio para separar el cemento asfáltico de dichos componentes. Los resultados de los ensayos sobre el residuo de destilación no son necesariamente características del asfalto básico empleado originalmente para la obtención del producto, ni del residuo que pueda quedar al cabo de un tiempo dado después de la aplicación en la obra del asfalto líquido.

1.3 El ensayo consiste en destilar una muestra de 200 cm³ en un matraz de 500 cm³, a una velocidad determinada, midiendo los volúmenes de destilación obtenidos a las temperaturas que se especifiquen. El residuo que queda, después de haber alcanzado una temperatura de 360°C (680°F), se puede caracterizar empleando los métodos apropiados.

2.1.2.2. Equipo

2.1 Matraz.- Un matraz de destilación con tubo de desprendimiento lateral, de 500 cm³.

2.2 Refrigerante recto.- Un dispositivo de condensación con camisa de vidrio de 200 a 300 mm de largo.

2.3 Alargadera.- Una alargadera acondicionada de paredes gruesas (1 mm) y borde reforzado, que tenga un ángulo de unos 105° y un diámetro, en la parte más ancha, de unos 18 mm y en la parte más estrecha no menor de 5 mm. La superficie inferior de la alargadera tendrá una curvatura suave descendente en todo su recorrido. La línea inferior del extremo de salida será vertical y la punta estará cortada en bisel con un ángulo de $45 \pm 5^\circ$.

2.4 Protector.- Un protector de hierro galvanizado, forrado interiormente con amianto de 3 mm de grueso y provisto de ventanas rectangulares cubiertas de mica transparente. Este dispositivo sirve para proteger el matraz de las corrientes de aire y evitar la radiación. La tapa, dividida en dos partes, podrá ser de hierro galvanizado, forrado con amianto, o de uralita.

2.5 Colectores.- Probetas de vidrio graduadas, de diámetro uniforme, con una base de vidrio moldeado y con pico. La altura total está comprendida entre 250 y 260 mm. Dichas probetas estarán graduadas en centímetros cúbicos y tendrán una capacidad de 100 cm^3 . La graduación no tendrá un error mayor de 1 cm^3 en cualquier punto de la escala.

2.6 Fuente de calor.- Mechero graduable de gas o equivalente.

2.7 Recipiente para el residuo.- Una caja metálica de 150 g y con dimensiones aproximadas de 75 ± 5 mm de diámetro y 55 ± 5 mm de altura.

2.8 Termómetros.- Un termómetro de destilación para temperaturas elevadas de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM E-1 y con las siguientes características:

Referencia A.S.T.M	Escala °C	Graduación °C	Longitud total mm	Error máx. °C
8C-62	-2 +400	1	386	1

2.1.2.3. Preparación de la muestra

3.1 La muestra, según se haya recibido, se agita bien para conseguir su homogeneidad, calentándola si fuere necesario y separando a continuación la porción para el ensayo.

3.2 Si la muestra contiene más de 2% de agua, deshidrátese el material antes de la destilación, para que no se produzca espuma.

Nota 1: Los asfaltos de curado rápido tienden a formar espuma aunque no contengan agua.

2.1.2.4. Montaje del aparato

4.1 Se coloca el matraz, rodeándolo con el protector, sobre el trípode o soporte con dos telas metálicas de malla, cuadradas, de 150 mm (6") de lado. El mechero debe protegerse de las corrientes de aire por medio de una chimenea de hierro. En el extremo del tubo de desprendimiento se conecta el refrigerante por medio de un tapón de corcho. El tubo refrigerante debe estar limpio y seco.

Todas las conexiones del aparato deben quedar herméticamente cerradas debido a los vapores inflamables que se destilan.

4.2 En el cuello del matraz se coloca el termómetro por medio de un tapón de corcho, de manera que la parte inferior del bulbo quede a 6.5 mm (1/4") del fondo del matraz. El eje del cuello del matraz, deberá quedar vertical y el termómetro alineado con respecto a este eje.

4.3 Se monta la alargadera en el extremo del tubo refrigerante y, para recoger el destilado, se coloca debajo de ella la probeta graduada, cubriéndola durante la destilación con un trozo de papel secante cortado de tal modo, que se adapte perfectamente. La distancia desde el cuello del matraz hasta el extremo de la salida de la alargadera, estará comprendida entre 600 y 700 mm.

4.4 La alargadera deberá introducirse por lo menos 25 mm en la probeta graduada, pero su extremo ha de quedar siempre por encima de la graduación de los 100 cm³.

4.5 Tanto el matraz como el tubo condensador, la alargadera, y el recipiente, deberán limpiarse y secarse antes de la destilación. Colóquese, así mismo, el recipiente de 8 onzas sobre su tapa, en un área libre de corrientes de aire.

4.6 Se hace pasar agua fría a través del forro del condensador. Si fuera necesario, empléese agua caliente para evitar la formación de sólido condensado en el tubo del condensador.

2.1.2.5. Procedimiento

5.1 Corríjanse las temperaturas que puedan observarse en la destilación, si la altura del laboratorio en el cual se efectúa el ensayo es de 150 m (500') o más sobre el nivel del mar. En la Tabla No.1 se muestran las temperaturas corregidas por altura. Si se conoce la presión barométrica equivalente en mm de mercurio, corríjase así mismo con aproximación a 1°C (2°F) la temperatura observada con la corrección mostrada en la Tabla No.2

5.2 Se pesan en el matraz 200 cm³ (ml) de la muestra, cuyo peso se ha calculado por medio del peso específico del material, 15.6/15.6°C (60/60°F), con aproximación a 0.5 g.

5.3 Se monta el matraz y se aplica el calor, regulándolo de tal forma que la primera gota de destilado, sea de agua o de aceite, caiga desde el extremo del tubo de desprendimiento del matraz, entre cinco y quince minutos después del comienzo de la calefacción.

5.4 La velocidad de destilación deberá mantenerse cuidadosamente y se continuará el proceso de manera que se consigan las siguientes velocidades, contadas las gotas en la punta de la alargadera:

- Hasta 260°C (500°F) de 50 a 70 gotas por minuto.
- Entre 260°C y 316°C (500 y 600 °F) de 20 a 70 gotas por minuto.
- No se emplearán más de 10 minutos en terminar la destilación desde 316 hasta 360°C (600 a 680°F).

5.5 Si la muestra produce espuma, se reduce la velocidad de destilación, normalizándola tan pronto como sea posible.

Si el exceso de espuma persiste, se puede controlar la destilación aplicando la llama cerca del borde del matraz, en vez de hacerlo hacia el centro.

El destilado se recoge en la probeta y se toma nota de los volúmenes destilados, con aproximación a 0.5 cm³, a las temperaturas que se especifican más adelante. También se anota, si lo hubiera, el volumen de agua destilada.

Si el volumen destilado resultara excesivo, pueden emplearse recipientes graduados y adecuados, con divisiones de 0.1 cm^3 y sumergidos en un baño de agua transparente mantenido a $15.6 \pm 3^\circ\text{C}$ ($60^\circ \pm 5^\circ\text{F}$).

5.6 Cuando se alcance en el termómetro la temperatura máxima de 360°C , (680°F), se apaga la llama, se desmonta el matraz e inmediatamente se vierte el residuo en el recipiente metálico, colocándolo sobre la tapa y procurando que la parte inferior no se enfríe demasiado rápido. El tiempo total empleado desde cuando se apaga la llama hasta cuando se comienza a verter el residuo, deberá ser menor de 15 segundos. Cuando se está vertiendo, el tubo de desprendimiento se mantendrá prácticamente horizontal para evitar que el condensado pueda incorporarse al residuo.

Después de dejar que escurran todos los aceites que queden en el tubo del condensador, se tomará nota del volumen total destilado a 360°C (680°F).

El residuo se deja enfriar en un lugar sin corrientes de aire, hasta que no se desprendan vapores, pero conservando la suficiente fluidez para poderlo verter.

Se agita entonces el residuo dentro de la caja y se vierte en los moldes apropiados, para realizar con él los ensayos requeridos de penetración, viscosidad y punto de ablandamiento.

Ya que al verter el residuo en la caja metálica puede producirse la inflamación espontánea de los vapores que quedan en el matraz, debe realizarse la operación protegiendo las manos con guantes de amianto.

5.7 Durante el proceso de la destilación el termómetro permanecerá en su posición original. No se realizarán correcciones por la parte del vástago del termómetro no sumergida.

2.1.2.6. Resultados e informe

6.1 Residuo asfáltico.- Calcúlese el porcentaje de residuo con aproximación a 0.1 en la siguiente forma:

$$R = [(200 - TD) / 200] \times 100$$

donde:

R = Residuo, como porcentaje de volumen y

TD = Destilado total recobrado a 360°C (680°F), cm³.

Repórtese este resultado como el residuo de destilación a 360°C (680°F), en porcentaje del volumen total de la muestra.

6.2 Destilado total.- Calcúlese el porcentaje total destilado con aproximación a 0.1 así:

$$TD\% = (TD / 200) \times 100$$

Repórtese este resultado como el total destilado a 360°C (680°F), en porcentaje del volumen total de la muestra.

6.3 Fracciones destiladas.- Determinense sus valores como porcentajes en volumen del destilado total dividiendo el volumen observado, en ml de cada fracción por los cm³ recuperados hasta 360°C (680°F) y multiplicándolos por 100. Repórtense estos resultados, con aproximación al 0.1% mas próximo, como los porcentajes en volumen de las fracciones del destilado total hasta 360°C (680°F), así:

Hasta 190°C (374°F)

Hasta 225°C (437°F)

Hasta 260°C (500°F)

Hasta 316°C (600°F)

Cuando se verifiquen ensayos de penetración, viscosidad u otros, hágase referencia al método que se haya empleado.

2.1.2.7. Precisión

7.1 Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre la misma muestra, no se considerarán sospechosos, a menos que difieran en más del 1% entre ellos.

7.2 Los resultados de dos ensayos efectuados por laboratorios distintos, sobre la misma muestra, no se considerarán sospechosos, a menos que difieran entre ellos en más de lo siguiente:

- Fracciones destiladas, en porcentaje del volumen total de la muestra original:

hasta 175°C (347°F)	3.5%
por encima de 175°C (347°F)	2.0%
 - Residuo de destilación a 360°C (680°F), en porcentaje del volumen total de la muestra
- 2.0%

7.3 La penetración del residuo no variará en más del 8% con respecto a la media.

2.1.2.8. Correspondencia con otras normas

ASTM	D 402
NLT	134

TABLA No.1

TEMPERATURAS CORREGIDAS POR ALTURA

Altura sobre el nivel del mar m (pies)	Fracciones de temperaturas para diferentes alturas, °C (°F)				
	Grados centígrados				
-305 (-1000)	192	227	263	318	362
-152 (-500)	191	226	261	317	361
0 (0)	190	225	260	316	360
152 (500)	189	224	259	315	359
305 (1000)	189	224	258	314	358
457 (1500)	188	223	258	313	357
610 (2000)	187	222	257	312	356
762 (2500)	186	221	256	312	355
914 (3000)	186	220	255	311	354
1067 (3500)	185	220	254	310	353
1219 (4000)	184	219	254	309	352
1372 (4500)	184	218	253	309	351
1524 (5000)	183	218	252	307	350
1676 (5500)	182	217	251	306	349
1829 (6000)	182	216	250	305	349
1981 (6500)	181	215	250	305	348
2134 (7000)	180	215	249	304	347
2286 (7500)	180	214	248	303	346
2438 (8000)	179	213	248	302	345
	Grados Farenheit				
-305 (-1000)	377	440	503	604	684
-152 (-500)	375	438	502	602	682

0 (0)	374	437	500	600	680
152 (500)	373	436	498	598	678
305 (1000)	371	434	497	597	676
457 (1500)	370	433	495	595	675
610 (2000)	369	431	494	593	673
762 (2500)	367	430	492	592	671
914 (3000)	366	429	491	590	669
1067 (3500)	365	427	490	588	667
1219 (4000)	364	426	488	587	666
1372 (4500)	363	425	487	585	665
1524 (5000)	361	423	485	584	663
1676 (5500)	360	422	484	582	661
1829 (6000)	359	421	483	581	660
1981 (6500)	358	420	481	580	658
2134 (7000)	357	418	480	578	656
2286 (7500)	356	417	479	577	655
2438 (8000)	355	416	478	575	653

TABLA No.2

FACTORES PARA CALCULAR CORRECCIONES DE TEMPERATURA

Temperaturas Nominales °C (°F)		Corrección ^(a) para 10 mm de Diferencia de presión °C (°F)	
160	(320)	0.514	(0.925)
175	(347)	0.531	(0.957)
190	(374)	0.549	(0.989)
225	(437)	0.591	(1.063)
250	(482)	0.620	(1.166)
260	(500)	0.632	(1.138)
275	(527)	0.650	(1.170)
300	(572)	0.680	(1.223)
315.6	(600)	0.698	(1.257)
325	(617)	0.709	(1.277)
360	(680)	0.751	(1.351)

(a) Deberá restarse en caso de que la presión barométrica esté por debajo de 760 mm de Hg; y deberá sumarse cuando la presión barométrica se halle por encima de 760 mm de Hg.

2.1.3 Penetración de los materiales asfálticos

I.N.V. E - 706

2.1.3.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

1.2 La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

1.3 Los aparatos y el procedimiento descrito en esta norma son de aplicación general en productos asfálticos con una penetración máxima de 350; en el numeral 3.3.6 se indican el material y procedimiento para penetración hasta 500.

2.1.3.2. Aparatos y material necesarios

2.1 Penetrómetro.- El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia estará constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual pueda fijarse firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración; y que permita, además, la colocación sobre el mismo, de diferentes cargas suplementarias; el aparato deberá estar calibrado para dar directamente la lectura en unidades de penetración, según el numeral

1.2. El peso del vástago será de 47.5 ± 0.05 g, y el peso total del conjunto móvil formado por el vástago juntamente con la aguja, de 50.0 ± 0.05 g.

Se deberá disponer igualmente, de pesas individuales suplementarias de 50.0 ± 0.05 g y 100.0 ± 0.05 g para obtener otras cargas totales móviles de acuerdo con las condiciones del ensayo. El penetrómetro deberá estar provisto, además, de una base de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, de forma plana y que forme un ángulo de 90 grados con el sistema móvil, así como de un nivel de burbuja y tornillos de nivelación.

- Este vástago deberá poderse separar fácilmente del conjunto del penetrómetro para verificar y ajustar correctamente su peso.
- En el caso de aparatos fabricados con anterioridad a Enero 1/76, éstos podrán ajustarse a la norma presente o a la AASHTO T 49-74.

2.2 Aguja de penetración.- La aguja será de acero inoxidable endurecido y templado, (ASTM Grado 440 C ó similar), con una dureza Rockwell C54 a C60, (0.039 a 0.040), tendrá unos 50 mm (2") de longitud y entre 1.00 y 1.02 mm de diámetro, con uno de sus extremos simétricamente afilado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre 8°40' y 9°40' en toda su longitud, y cuyo eje sea coaxial con el de la aguja; la variación total axial entre las intersecciones de las superficies del cono y del cilindro, medida como proyección sobre el eje de simetría de la aguja, no deberá exceder de 0.0127 mm (0.0005"). Después de dada la conicidad, se corta su punta para formar un cono truncado, cuya base tenga un diámetro comprendido entre 0.14 y 0.16 mm (0.055 y 0.063") y esté situado en un plano perpendicular al eje de la aguja, con una tolerancia máxima de 2 grados y con sus bordes filosos y libres de rebabas.

La textura de la superficie cónica, medida según la norma (American National Standard B-46.1), deberá tener una rugosidad media superficial comprendida entre 0.2 y 0.3 μm (8 a 12 μ "). La aguja irá montada rígida y coaxialmente en un casquillo cilíndrico, de latón o acero inoxidable, de 3.2 ± 0.05 (0.126 \pm 0.002") de diámetro y 38 ± 1 mm (1.5 \pm 0.002") de largo, debiendo quedar una longitud libre de aguja entre 40 y 45 mm (1.57 a 1.77"). La excentricidad, o distancia máxima al eje del casquillo, desde cualquier punto de la superficie de la aguja, incluida su punta, no excederá de 1 mm. El peso total del conjunto casquillo-aguja será de 2.5 ± 0.05 g, permitiéndose para su ajuste un pequeño agujero o rebaje sobre el casquillo; igualmente, irá grabada sobre éste la identificación individual de

la aguja, no autorizándose la repetición de una misma identificación hasta pasados 3 años.

- Las agujas que cumplan los requisitos de control exigidos en este numeral deberán hacerlo constar así en su correspondiente certificado.

2.3 Recipiente o molde para la muestra.- Los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las siguientes dimensiones interiores:

	Diámetro mm (")	Profundidad mm (")
Penetración hasta 200	55 (2.17)	35 (1.38)
Penetración entre 200 y 350	70 (2.75)	45 (1.77)

2.4 Baño de agua.- Para la inmersión de los recipientes con las muestras, se dispondrá de un baño de agua con una capacidad mínima de 10 litros y provisto de un dispositivo capaz de mantener la temperatura especificada para el ensayo con una variación de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0.2°F). El baño irá equipado con una placa soporte perforada, colocada a una distancia no menor de 50 mm del fondo, ni mayor de 100 mm del nivel superior del líquido en el baño. Si la penetración se va a realizar en el mismo baño de agua, éste deberá disponer, además, de una plataforma resistente para soportar el penetrómetro. Para ensayos de penetración a bajas temperaturas, pueden utilizarse salmueras como líquido del baño.

2.5 Baño auxiliar.- El ensayo de penetración puede realizarse igualmente en un baño de agua auxiliar, metálico, de vidrio o plástico, y que proporcione una base firme y estable a los recipientes para las muestras impidiendo, además, cualquier oscilación o basculamiento de los mismos

durante el ensayo. Su capacidad deberá ser aproximadamente de 2 litros y con suficiente profundidad para permitir que los recipientes con las muestras queden completamente sumergidos.

2.6 Dispositivo medidor de tiempo.- Control de precisión. La precisión de los instrumentos empleados para medir la duración de los tiempos de carga, deberá comprobarse inmediatamente antes de cada ensayo.

- Penetrómetros manuales.- Cuando se empleen penetrómetros de este tipo, el tiempo del ensayo deberá medirse mediante un reloj eléctrico, un cronómetro u otro instrumento cualquiera graduado en 0.1 s o menos, y que tenga una exactitud de ± 0.1 s en un intervalo de 60 s. Puede utilizarse igualmente un contador sonoro que emita una señal cada 0.5 s, y en el que la cuenta de 11 señales equivalga a un tiempo total de 5 ± 0.1 s.

- Penetrómetros automáticos.- En estos aparatos, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado para proporcionar el tiempo del ensayo con exactitud de ± 0.1 s.

2.7 Termómetros.- Para controlar las temperaturas del ensayo en el baño de agua se dispondrá de termómetros de mercurio con varilla de vidrio, de inmersión total, y con las siguientes características principales:

Temperatura del ensayo °C (°F)	Referencia ASTM	Escala °C (°F)	Graduación °C (°F)	Longitud total Mm	Error máximo °C (°F)
25 (77)	17C	19 a 27 (66 a 80°)	0.1 (0.2)	275	0.1 (0.2)
0 y 4 (32 y 39.2)	63C	8 a 32 (18 a 89°)	0.1 (0.2)	379	0.1 (0.2)
46.1 (115°F)	64C	25 a 55 (77 a 131°)	0.1 (0.2)	379	0.1 (0.2)

Nota No.3. Para las restantes características de los termómetros, puede consultarse la especificación ASTM E - 1. Los termómetros utilizados en el baño de agua deberán ser calibrados como máximo cada seis meses, pudiéndose emplear el método ASTM E - 11.

2.1.3.3. Procedimiento

3.1 Preparación de la muestra.- Se tomarán las precauciones necesarias para que la muestra del ensayo sea verdaderamente representativa, de aspecto homogéneo y sin contaminación.

De la muestra de laboratorio, se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas. Las temperaturas de calentamiento no excederán a las del Punto de Ablandamiento (Norma INV E - 712, método de anillo y bola) de cada material en más de 100 °C (180°F). El

tiempo total de calentamiento no excederá 30 minutos, evitándose la formación de burbujas de aire.

A continuación, se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, y hasta una altura que, medida a la temperatura del ensayo, sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta. Se preparará un total de dos moldes por cada muestra de material y ensayo de iguales características.

Después de llenar los moldes, se cubren con un vaso de vidrio invertido, de dimensiones apropiadas, para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 20° y 30°C, (68° y 86°F), por un período entre 1 y 1.5 horas, si se emplean pequeños, y entre 1.5 y 2 horas si se utilizan los de mayor tamaño. Finalmente, se sumergen los recipientes en el baño de agua a la temperatura especificada, manteniéndolos así durante los mismos períodos de enfriamiento.

3.2 Condiciones del ensayo.- Las condiciones normalizadas del ensayo son respectivamente, de 25°C (77°F), 100 g y 5 s para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo, como por ejemplo:

Temperatura °C (°F)	Carga G	Tiempo s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60

25 (77)	100	25
25 (77)	50	5
46.1 (115°)	50	5

Cuando las condiciones del ensayo no se mencionan expresamente, se entenderá que serán las normalizadas, debiéndose especificar claramente en los demás casos las condiciones especiales que podrán emplearse.

3.3 Ejecución del ensayo.- Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja está perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener el peso móvil total de 100 ± 0.1 g.

El ensayo de penetración puede realizarse directamente en el baño de agua, colocando el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, el cual debe quedar completamente sumergido. La penetración puede igualmente llevarse a cabo en el baño auxiliar colocado sobre la base del penetrómetro, conectándolo directamente al baño de agua mediante un sistema de alimentación en circuito cerrado, que mantenga constante la temperatura de ambos baños. El recipiente con la muestra se coloca en el baño auxiliar, completamente sumergido.

Si el ensayo se realiza para un arbitraje, las penetraciones a temperaturas diferentes a la normalizada, se realizarán directamente en el baño de agua.

- Cuando no se disponga de un sistema de alimentación como el descrito en el párrafo anterior, la penetración puede también realizarse mediante un pequeño baño auxiliar de unos 400 cm³, de fondo plano y suficiente profundidad, el cual deberá mantenerse sumergido en el baño principal hasta la realización del ensayo. La muestra se pasa al baño pequeño, se cubre completamente con agua procedente del baño principal, a la temperatura de ensayo y el conjunto se sitúa sobre la base del penetrómetro.
- Puede ser conveniente dotar a este baño con un tipo de soporte, así como un sistema que proporcione un apoyo con 3 puntos de contacto al recipiente para la muestra.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión prescritos en el numeral 3.1, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre, lo cual se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar, convenientemente colocada. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Si el recipiente con la muestra se mueve durante la penetración, se anula el resultado. Cuando se utilice el baño pequeño auxiliar, el conjunto del recipiente y el baño, se retornarán al baño principal hasta cuando se vaya a efectuar la penetración siguiente. Igualmente, si la penetración no se ha realizado al cabo de 2 minutos, se devuelve el conjunto recipiente-baño, al baño principal de agua y se opera con una pareja distinta.

Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8")

entre sí y de las paredes del recipiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean mas profundas de 200, se usarán al menos tres agujas, dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones se hayan completado.

Los aparatos y el procedimiento descrito anteriormente son de aplicación general para materiales con penetraciones hasta de 350. El método, sin embargo, puede ser utilizado para determinaciones de penetración de 500, utilizando moldes y agujas especiales. El recipiente para la muestra debe tener al menos, 60 mm de profundidad. El volumen total del material en el recipiente no deberá exceder de 125 ml para permitir las variaciones propias de la muestra, por cambio de temperatura. La aguja que se emplee deberá cumplir con los requisitos de calidad, dimensiones y peso exigidos en el numeral 2.2., con excepción de su longitud libre, que será como mínimo de 50 mm.

- Puede obtenerse un valor aproximado de la penetración de estos materiales, utilizando el recipiente convencional de 70 mm de diámetro, la aguja normalizada en el aparte 2.2 y una carga móvil total de 50 g. La penetración buscada se calcula, entonces, multiplicando el valor obtenido en estas condiciones por $\sqrt{2}$, o sea:

$$\text{Penetración (100 g)} = \text{Penetración (50 g)} \times 1.414$$

En estos casos, el resultado se debe expresar como aproximado, indicando el procedimiento de obtención.

2.1.3.4. Resultados

4.1 El resultado del ensayo será el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran en más de las siguientes cantidades:

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	mayor de 249
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	6	8

4.2 Si se excede la tolerancia anterior, se repite el ensayo utilizando el segundo molde con muestra previamente preparada. Si se excediera de nuevo la correspondiente tolerancia, se anulan los resultados obtenidos y se procederá a la realización de un nuevo ensayo.

2.1.3.5. Precisión

5.1 Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

5.2 Repetibilidad.- Los ensayos por duplicado por un mismo operador y equipo en tiempos diferentes y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25°C (77°F)):

Material asfáltico Ensayo a 25 °C	Diferencia
Asfalto con penetración menor de 50	1 unidad
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	3% del valor medio

5.3 Reproducibilidad.- Los ensayos realizados por distintos operadores en diferentes laboratorios y sobre una misma muestra, se considerarán dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25°C (77°)).

Asfalto con penetración
menor de 50

4 unidades

Asfalto con penetración
igual o mayor de 50

8% del valor medio

Los valores de precisión indicados anteriormente, se han obtenido multiplicando los estimativos de las desviaciones típicas de las poblaciones que se indican a continuación, por $2\sqrt{2}$.

Material Asfáltico Ensayos a 25°C (77°F)	Estimación de la desviación típica	
	En un Laboratorio	Entre Laboratorios
Asfaltos con penetración menor de 50	0.35 unidades	1.4 Unidades
Asfaltos con penetración igual o mayor de 50	1.1% del valor medio	2.8% del valor medio

Los estimativos de precisión anteriores están basados en los siguientes datos:

	Asfaltos de Penet.<50	Asfaltos de Penet.≥50
Muestras	2	7
Laboratorios	16	27
Repeticiones por muestra	3	3
Grados de libertad dentro del laboratorio	32	185
Entre laboratorios	14	89

2.1.3.6. Correspondencia con otras normas

ASTM D 5 .

AASHTO T 49 .

NLT 124.

2.1.4 Ductilidad de los materiales asfálticos

I.N.V. E - 702

2.1.4.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida.

1.2 El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

1.3 Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 50 ± 2.5 mm por minuto y la temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$); aunque puede realizarse en otras condiciones de temperatura, debiendo concretarse en este caso la velocidad correspondiente.

2.1.4.2. Equipo y materiales

2.1 Moldes.- Los moldes para fabricar las probetas serán de bronce. A las partes b y b' se las denomina "pinzas" y a las a y a' "piezas laterales". Un molde correctamente montado, proporcionará probetas para ensayo con las siguientes dimensiones:

Longitud total	75.0 ± 0.5 mm
Distancia entre pinzas	30.0 ± 0.3 mm
Ancho de boca de las pinzas	20.0 ± 0.2 mm
Ancho de la sección mínima (equidistante entre pinzas)	10.0 ± 0.1 mm
Espesor uniforme	10.0 ± 0.1 mm

2.2 Placa.- Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción.

2.3 Baño de agua.- Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de 0.1 °C (0.2°F). Su volumen de agua no será inferior a 10 litros y estará equipado con una placa perforada para la colocación de las probetas, situada a una distancia mínima de 50 mm del fondo y 100 mm de la superficie.

2.4 Ductilómetro.- El aparato para el ensayo de tracción se denomina ductilómetro y, en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen las probetas, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo. La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada será del 5%.

2.5 Termómetros.- Para su empleo durante la inmersión en el baño de agua, se empleará un termómetro de inmersión total con las siguientes características:

Referencia	ASTM 63C
Escala	-8°C a 32°C
Graduación	0.1°C
Longitud Total	379 ± 5 mm
Error Máximo	0.1°C

Si la ductilidad se realiza a 25°C (77°F), puede utilizarse el termómetro con referencia ASTM D 5 utilizado en el ensayo de penetración.

2.1.4.3. Procedimiento

3.1 Preparación de las probetas.- Para evitar la adherencia del material a la placa y partes interiores del molde, se cubren éstas con una ligera película de una mezcla de partes iguales de glicerina y dextrina, (Véase

Nota No.1), montándose a continuación el molde, sujetándolo sobre la placa mediante el tornillo lateral. La placa con el molde se colocan sobre una superficie horizontal, debiendo comprobarse que todas las piezas del molde apoyen completamente sobre la placa.

El material asfáltico se calienta cuidadosamente, agitándolo en cuanto su consistencia lo permita para prevenir los sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluido para verterlo. Se pasa entonces a través del tamiz de 0.297 mm (No.50), se homogeniza completamente y se procede al llenado de los moldes.

El llenado en los moldes se hará con cuidado, procurando no distorsionar el correcto montaje de sus piezas, vertiendo el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.

La probeta, dentro del molde y protegida del polvo, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, sumergiéndola a continuación en el baño de agua a la temperatura de ensayo durante otros 30 minutos. Seguidamente se quita el exceso de material del molde con una espátula recta caliente, hasta dejar la probeta perfectamente enrasada.

El conjunto de la placa, molde y probeta se introduce de nuevo en el baño de agua, manteniéndolo a la temperatura de ensayo con una variación máxima de 0.1°C, (0.2°F), durante un tiempo comprendido entre 85 y 95 minutos. A continuación, se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

Nota 1: En algunas normas se sigue recomendando, para evitar la adherencia del material, el empleo de la amalgama de mercurio. Puede consultarse a este fin la Norma ASTM D 113-85, que incluye,

además, una detallada relación de las precauciones que hay que tomar en el manejo y utilización de estos productos.

3.2 Ejecución del ensayo.- La probeta se monta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los correspondientes orificios de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada hasta que se produzca la rotura, midiéndose la distancia en cm que se hayan separado ambas pinzas hasta este instante.

Durante la realización del ensayo la probeta, al irse estirando, deberá permanecer en todo momento sumergida en el agua del ductilómetro, sin aproximarse a la superficie o al fondo una distancia menor de 25 mm. La temperatura del agua será la normalizada, con una tolerancia de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$).

En un ensayo normal, el material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal. Si durante el ensayo, el material bituminoso al estirarse tiene tendencia a subir hasta la superficie del agua o tocar la placa de fondo del ductilómetro, deberá ajustarse la densidad relativa del agua a la del material ensayado, añadiendo alcohol metílico o cloruro de sodio según el caso, hasta conseguir que el hilo quede lo más recto posible, sin elevarse o descender.

2.1.4.4. Resultados

4.1 La distancia en cm que se han separado las pinzas desde su posición inicial hasta que se produce la rotura en un ensayo normal, es del valor de la ductilidad de una probeta.

4.2 Se ensayarán tres probetas por muestra, y el valor medio obtenido en un ensayo normal se expresará como el resultado de la ductilidad, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo.

4.3 Si no puede conseguirse que un ensayo se desarrolle en las condiciones normales anteriores, se informará que la ductilidad no se puede realizar en esas condiciones.

2.1.4.5. Precisión

5.1 No hay suficiente número de datos para poder establecer correctamente la precisión del ensayo a 15,6°C. Sin embargo, del análisis de resultados entre 13 laboratorios sobre una muestra con 45 cm. de ductilidad, la precisión obtenida para la reproductibilidad ha sido de 23 cm.

Nota 2: Los criterios de precisión están tomados de la Norma ASTM D 113.

2.1.4.6. Correspondencia con otras normas

ASTM	D 113
AASHTO	T 51
NLT	126

2.1.5 Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno

I.N.V. E - 713

2.1.5.1. Objeto

Este método de ensayo se refiere a la determinación del grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que tengan poco material mineral o que carezcan de él.

2.1.5.2. Resumen del metodo

La muestra se disuelve en tricloroetileno y se pasa a través de un filtro de papel. El material insoluble es lavado, secado y pesado.

2.1.5.3. Uso y significado

Este método es una medida de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno y la parte que sea soluble representa los constituyentes cementantes activos.

2.1.5.4. Equipo

4.1 El conjunto del aparato filtrante, tiene las siguientes partes componentes:

- Crisol Gooch vidriado interiormente y exteriormente con excepción de la parte inferior de la superficie externa. Sus dimensiones aproximadas deberán ser: diámetro de 44 mm en la boca superior, ahusado hasta un diámetro de 36 mm en el fondo, y profundidad de 28 mm.

- Almohadillas de fibra de vidrio de 3.2 cm².
- Frasco de vidrio, de pared gruesa con tubo lateral, de 250 ml de capacidad o mayor.
- Tubo filtrante de 40 a 42 mm de diámetro interior.

- Adaptador de caucho para el tubo, para mantener el crisol sobre el tubo filtrante.
- Pueden emplearse otros dispositivos que permitan filtración en vacío utilizando el crisol Gooch.

4.2 Frasco Erlenmeyer de 125 ml y otro recipiente adecuado.

4.3 Horno, que pueda mantener temperatura de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).

4.4 Desecador de tamaño adecuado cargado con un desecante efectivo.

4.5 Asbesto, en fibras medianas o largas, lavado con ácido, especial para crisoles Gooch.

4.6 Balanza analítica, con una capacidad de 200 g y una sensibilidad de 0.0001 g.

4.7 Mufla que pueda obtener una temperatura de 650°C (1200°F). No se requiere cuando se usan filtros de fibra de vidrio en lugar de los asbestos.

2.1.5.5 Disolvente

Tricloroetileno de grado técnico.

2.1.5.6. Precauciones de seguridad

El tricloroetileno es tóxico y deberá trabajarse en presencia de buena ventilación. Es más inflamable que el tetracloruro de carbono. El tricloroetileno en presencia del calor y de la humedad puede formar ácidos que son extremadamente corrosivos.

2.1.5.7. Preparación del crisol

7.1 Agítense perfectamente una parte de las fibras de asbesto en agua destilada de tal manera que se forme una suspensión fina en la cual las fibras estén uniformemente dispersas.

7.2 Ensámblase el aparato filtrante. Llénese el crisol con parte de la suspensión de fibras de asbesto en agua y déjesela asentar parcialmente en el crisol. Aplíquese una ligera succión para sacar el agua, dejando una capa firme de asbesto en el crisol. Agréguese más suspensión de fibras de asbesto y repítase el proceso hasta que se forme una capa que después de la ignición pese alrededor de 0.5 ± 0.1 gramo. Lávese completamente la capa de asbesto con agua, séquese en un horno y quémese en la mufla entre 600 y 650°C (1100 a 1200°F). Enfríese el crisol en un desecador y pésele con aproximación a 0.1 miligramos. Repítase la ignición y el enfriamiento hasta que se obtenga peso constante (± 3 mg). Almacénese en un desecador hasta que llegue el momento de ser empleado.

- En la determinación, aparentemente las fibras de asbesto absorben en forma invariable una pequeña cantidad de asfalto soluble (generalmente de 1 a 5 mg por gramo de asbesto). Los pesos de asbesto empleado deberán, por lo tanto, mantenerse dentro de los límites especificados para asegurar un resultado exacto.

7.3 Cuando se empleen discos de fibra de vidrio, no se tendrán en cuenta los apartes 7.1 y 7.2. Armese el aparato filtrante, colóquese un disco filtrante en el crisol Gooch, humedézcase el disco con solvente y asiéntese firmemente en el fondo del crisol. Colóquese en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$) por un mínimo de 20 minutos, enfríese en el desecador y pésele. Repítase el secamiento y pesaje hasta que se obtenga peso constante (± 0.3 mg). Almacénese en un desecador, hasta que llegue el momento de ser empleado.

2.1.5.8. Preparación de la muestra

Si la muestra no es líquida, caliéntese a cualquier temperatura conveniente pero en ningún caso mayor de 37.8 a 100°C (100 a 180°F) por encima del punto de ablandamiento.

2.1.5.9. Procedimiento

9.1 Adóptense las precauciones de seguridad del numeral 6. Transfiéranse aproximadamente dos gramos de la muestra a un frasco Erlenmeyer tarado de 125 ml o a otro recipiente adecuado. Pésese exactamente con aproximación a un miligramo. Agréguese 100 ml de tricloroetileno al recipiente en pequeñas porciones con agitación continua hasta que desaparezcan todos los terrones y no se adhiera muestra no disuelta al recipiente. Tápese o cúbrase el recipiente y colóquese al lado al menos por 15 minutos.

Normalmente, la temperatura a la cual se realiza este ensayo no es crítica y puede realizarse a la temperatura ambiente del laboratorio. Para ensayos de referencia, sin embargo, el frasco y la muestra en solución deberán colocarse en un baño de agua mantenido a $37.8 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ ($100 \pm 0.5^{\circ}\text{F}$) por una hora antes de la filtración.

9.2 Colóquese el crisol Gooch previamente preparado y pesado en el tubo filtrante, humidézcase la capa de asbesto con una pequeña porción de solvente limpio y decántese la solución a través de la capa de asbesto del crisol con succión ligera. Cuando sea apreciable la materia insoluble, reténgase tanta cuanto sea posible en el recipiente, hasta que la solución haya drenado a través de la capa de asbesto.

Lávase el recipiente con una pequeña cantidad de disolvente y, empleando una corriente de solvente de una botella de lavado, transfírase todo el material insoluble al crisol. Frótese con un agitador si fuere necesario, para remover la materia insoluble que se adhiera al recipiente, enjuáguese el agitador y el recipiente, lávese completamente la materia insoluble en el crisol con solvente hasta que lo filtrado sea esencialmente incoloro,

aplíquese luego succión fuerte para remover el solvente restante. Remuévase el crisol del tubo, lávese del fondo libre cualquier materia disuelta y colóquese el crisol sobre un horno o sobre un baño de vapor hasta que sea removido todo olor de solventes (ver precauciones de seguridad en el numeral 6). Colóquese en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$) por un mínimo de 20 minutos. Enfríese en un desecador y pésese. Repítase el secamiento y pesaje hasta que se obtenga peso constante (± 0.3 miligramos).

Excepto para ensayos de referencia, pueden emplearse en el ensayo crisoles con capas de asbesto usados; los discos de filtro de fibra de vidrio deberán emplearse solamente una vez.

2.1.5.10. Cálculos e informe

Calcúlese el porcentaje total de materia insoluble o el porcentaje de la muestra soluble en el solvente empleado en la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje Insoluble} = \frac{A}{B} \times 100$$

$$\text{Porcentaje soluble} = 100 - (A/B \times 100)$$

Donde:

A = Peso total insoluble

B = Peso total de la muestra

- Para porcentajes de materia insoluble menores de 1.0 infórmese con aproximación a 0.01%, y para porcentajes de 1.0 o mayores, con aproximación a 0.1% .

2.1.5.11. Precisión

La estimación de desviación estándar (σ_p) para este procedimiento y los criterios para juzgar la aceptabilidad, o los resultados (con un nivel confiable del 95%) son como se indican en la Tabla No.1.

Los estimativos de desviación estándar se basan en lo siguiente:

	Asfaltos
Materiales	4
Réplicas	3
Solventes	4
Laboratorios	26
Grados de libertad	
- Variabilidad dentro del laboratorio	159
- Variabilidad entre laboratorios	81
Desviación estándar (s) de datos:	
- Variación dentro del laboratorio	0.035

- Variación entre
laboratorios 0.090

2.1.5.12. Correspondencia con otras normas

AASHTO T 44
ASTM D 2042

Tabla 1
Criterios para la aceptación de resultados

	Variación dentro del laboratorio		Variabilidad entre laboratorios	
	Desviación estándar σ (b)	Repetición	Desviación estándar σ	Variabilidad entre laboratorios (a)
Solubilidad de asfaltos mayor del 99% (aplicable cuando se emplea bisulfuro o tetracloruro de carbono, tricloroetileno o benceno)	0.035	0.10	0.090	0.26
Alquitrán líquido (cuando se usa bisulfuro de carbono)	0.11	0.31	0.22	0.61

Alquitrán semisólido (cuando se usa bisulfuro de carbono)	0.17	0.48	0.83	2.34
---	------	------	------	------

2.1.6 Agua en los materiales asfálticos

I.N.V. E – 704

2.1.6.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del contenido de agua en los materiales asfálticos en general, como crudos de petróleo, alquitranes y productos derivados de ambos materiales.

1.2 Para el caso de las emulsiones asfálticas, debe seguirse el procedimiento descrito en la Norma INV E - 761

1.3 El método se basa en la destilación a reflujo de una muestra del material asfáltico, conjuntamente con un solvente volátil no miscible con el agua, el cual al evaporarse, facilita el arrastre del agua presente, separándose de ella al condensarse.

2.1.6.2. Equipo

2.1 Aparato de destilación.- Está formado por una retorta metálica o matraz de vidrio, calentado por un medio apropiado, y un refrigerante de reflujo que descarga los líquidos condensados en un colector graduado, en el cual se recoge y se mide el agua, devolviéndose el exceso de solvente al matraz. El tipo de aparato empleado no es un rasgo esencial del método, pero es necesario cuidar las uniones entre sus distintas partes para producir un ajuste sin fugas. Si bien estas uniones pueden ser del tipo convencional, son preferibles las de vidrio esmerilado o las que tengan anillos de caucho para uniones vidrio-metal.

2.2 Matraces de vidrio.- Serán de cuello corto y fondo redondo, de vidrio resistente al calor, y con capacidades de 500, 1.000 y 2.000 ml, según la cantidad de muestra requerida.

2.3 Retorta metálica.- La retorta tendrá forma cilíndrica, y estará provista de una pestaña en su borde superior, a la cual se sujeta la tapa por medio de una abrazadera, formando un cierre completamente hermético. Esta tapa será del mismo material que la retorta y estará provista de un orificio de unos 25 mm (1") de diámetro interior. Se dispondrá de retortas de las mismas capacidades recomendadas antes para el matraz.

2.4 Sistema de calefacción.- Con el matraz de vidrio se puede utilizar un mechero normal de gas o un calentador eléctrico. Con la retorta metálica se emplearán mecheros anulares de gas, con agujeros de salida en su

parte interior y de las dimensiones apropiadas al tamaño de la retorta utilizada. Estos mecheros podrán deslizarse verticalmente a lo largo de la retorta, para prevenir la formación de espuma o la tendencia a la solidificación que pueden presentar ciertos materiales.

2.5 Refrigerante.- Para la condensación de los destilados se utilizará un refrigerante de vidrio del tipo recto y enfriado por agua, con un diámetro interior del tubo de condensación entre 9.5 y 12.5 mm y con camisa de refrigeración de 400 mm de longitud como mínimo.

2.6 Colector.- Los colectores para recoger y medir el agua serán de vidrio, y su tamaño se elegirá en función de la cantidad de agua que tenga la muestra. En general, se deberá disponer de colectores de 2 ml y graduados en 0.05 ml y de 10 y 25 ml, graduados en 0.1 ml

2.1.6.3. Disolventes

3.1 Disolventes aromáticos.- Se pueden utilizar los siguientes:

- Xileno industrial.
- Mezcla en volumen de un 20% de tolueno industrial y un 80% de xileno industrial.
- Nafta de petróleo o alquitrán de hulla, libres de agua, y que destile como máximo un 5% a 125°C (257°F) y como mínimo, el 20% a 160°C (320°F). Su peso específico relativo a 15.6/15.6°C (60/60°F) será mayor de 0.8545.

3.2 Derivados de petróleo, con un 5% de destilado, entre 90 y 100°C (194 y 212°F) y un 90%, antes de los 210°C (410°F).

3.3 Destilados ligeros.- Destilados de petróleo, con intervalo de destilación entre 100 y 120°C (212° y 248°F).

Isooctano, de 95% de pureza.

Nota 1: Este último producto es inflamable y sus vapores son de inhalación peligrosa.

2.1.6.4. Procedimiento

4.1 Preparación de la muestra.- La muestra para ensayo deberá ser representativa de la muestra de material existente en el laboratorio, de acuerdo con la norma INV E - 701

Si el material es de consistencia líquida o viscosa, se mezclará completamente para homogeneizarlo, calentándolo si fuera preciso, hasta fluidificarlo.

Si el material es sólido y suficientemente quebradizo, se machaca en fragmentos de tamaño adecuado y se toma una muestra representativa para ensayo.

Cuando existan dudas sobre la uniformidad de las muestras disponibles, se ensayarán varias de ellas y se tomará el promedio de los resultados.

El tamaño de la muestra estará de acuerdo con la cantidad de agua que contenga, eligiendo al mismo tiempo el colector, para que el agua recogida no exceda su capacidad, a menos que se utilicen colectores con llaves inferiores de salida.

4.2 Calibración.- Para considerar que un aparato y un montaje son satisfactorios, los resultados obtenidos, cuando se añaden con una bureta o pipeta cantidades conocidas de agua, a un material bituminoso exento de ella, deberán hallarse dentro de los límites permitidos por la Tabla No.1. El ensayo se realizará como se explica en el numeral 4.3 de esta Norma.

TABLA No.1

LIMITES PERMITIDOS EN ml

Capacidad del Colector a 20°C MI	Volumen de agua añadida, a 20°C ml	Límites permitidos para el agua recuperada, a 20°C ml
2	1	1 ± 0.05
10	1	1 ± 0.1
10	5	5 ± 0.2
25	12	12 ± 0.2

Si los resultados obtenidos exceden los límites anteriores, será por causa de: a) pérdida de vapores por deficiente montaje; b) una ebullición demasiado rápida; c) una incorrecta calibración de los colectores, d) condensaciones de humedad en el interior del aparato. Una vez corregida y eliminada la causa del mal funcionamiento, se debe repetir la calibración.

4.3 Realización del ensayo.- Se tomará la cantidad adecuada de muestra con una aproximación de ± 1%, y se introducirá en la retorta o matraz (véase el aparte 4.1.5).

Los materiales líquidos se medirán en una probeta graduada de capacidad adecuada, la cual se enjuaga a continuación con una porción de 50 ml de solvente, seguida de dos porciones de 25 ml cada una con otro disolvente adecuado para el material, según la Tabla No.2; las tres porciones de lavado se añaden directamente al matraz o retorta con la muestra, dejando escurrir bien la probeta.

TABLA No.2

TIPOS DE DISOLVENTES PARA MATERIALES BITUMINOSOS

Materiales	Solventes Adecuados
Asfaltos sólidos, alquitranes, gas de agua, alquitranes para carreteras, asfaltos líquidos, emulsiones asfálticas	Aromáticos
Crudos de petróleo, fuel-oil, aceites lubricantes, sulfonatos de petróleo	Destilados de petróleo
Grasas lubricantes	Destilados ligeros

Los materiales sólidos o viscosos, se pesan directamente en la retorta o matraz, añadiendo a continuación 100 ml del solvente adecuado, según la Tabla No.2.

En el caso de materiales con un contenido bajo de agua, puede ser necesario emplear cantidades mayores de muestra y solvente.

Pueden emplearse bolas de vidrio u otro material adecuado para favorecer la ebullición.

El aparato se monta, eligiendo el colector de acuerdo con el contenido de agua esperado y asegurando un cierre completamente hermético en todas las conexiones. Si se emplea la retorta metálica, se coloca entre el reborde de la misma y la tapa, un aro de papel húmedo grueso, impregnado con solvente. El refrigerante y el colector deberán estar químicamente limpios y secos para asegurar un perfecto escurrimiento del agua por sus paredes. Se coloca también un tapón de algodón sin apelmazar en el extremo superior del tubo del refrigerante, para evitar la condensación de humedad atmosférica en su interior. Finalmente, se hace circular agua fría a través de la camisa de refrigeración.

Se aplica calor al matraz, ajustándolo hasta conseguir una velocidad de destilación de 2 a 5 gotas por segundo, cayendo desde el extremo inferior del tubo del refrigerante. Si se utiliza la retorta metálica, se comienza colocando el mechero anular a unos 75 mm (3") por encima de su fondo, bajándolo gradualmente al ir progresando la destilación.

La destilación se continúa hasta cuando no se observe resto alguno de agua en ninguna parte del aparato, salvo en el colector; y el volumen de agua recogida, se haya mantenido constante durante 5 minutos. Si se observa un anillo persistente de agua condensada en la parte inferior del tubo del refrigerante, puede aumentarse con cuidado la velocidad de destilación o disminuir durante algunos minutos el caudal del agua de refrigeración.

Una vez finalizada la destilación, se apaga la fuente de calor y se espera que el colector y su contenido se hayan enfriado a temperatura ambiente. Se desmonta el aparato y con una varilla fina de vidrio u otro medio adecuado, se arrastran las gotas de agua que puedan haber quedado adheridas a las paredes del colector, uniéndolas a la masa de agua.

Se lee y anota el volumen de agua recogida en el colector con la aproximación que tenga su escala.

2.1.6.5. Resultados

5.1 Cálculo y expresión de los resultados.- Se calcula el contenido de agua de la muestra como porcentaje en peso o volumen, mediante la expresión:

$$\text{Contenido de agua, \%} = \frac{\text{volumen de agua en el colector}}{\text{Peso (o volumen) de muestra}} \times 100$$

Nota 2: Si la muestra contiene materiales volátiles solubles en agua, se incluirán como agua.

El resultado se expresará como contenido de agua según esta norma, con una aproximación del 0.05% si se ha utilizado el colector de 2 ml, y con una aproximación del 0.1% si se han utilizado los colectores de 10 ó de 25 ml.

2.1.6.6. Precisión

6.1 Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios con los colectores de 10 y 25 ml, (no se ha establecido la precisión para el colector de 2 ml).

- Repetibilidad.- Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo y sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Agua recogida en el colector ml	Diferencia, en ml
0 a 1.0	0.1
1.1 a 25	0.1 ó 2% de la media; lo que sea mayor

- Reproducibilidad.- Los ensayos realizados por distintos operadores y laboratorios sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Agua recogida en el colector ml	Diferencia, en ml
0 a 1.0	0.1
1.1 a 25	0.1 ó 10% de la media; lo que sea mayor

2.1.6.7. Correspondencia con otras normas

ASTM D 95

AASHTO T 55

NLT 123

2.1.7 Viscosidad saybolt de asfaltos

I.N.V. E - 714

2.1.7.1. Objeto

1.1 Este método se refiere a los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt universal o Saybolt Furol de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 21° y 99°C (70 y 210°F). Se incluye un procedimiento especial para productos parafinados.

Nota 1: Los métodos INV E - 715 y ASTM D445 se prefieren para determinar la viscosidad cinemática. Ellos requieren muestras más pequeñas, menor tiempo de ejecución y proporcionan mayor

precisión. La viscosidad cinemática puede convertirse a Saybolt mediante las tablas de la Norma ASTM D 2161. Se recomienda que los índices de viscosidad se calculen a partir de la viscosidad cinemática y no de Saybolt.

2.1.7.2 Uso y significado

2.1 Este método es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un medio para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.

2.2 La determinación de la viscosidad Saybolt de materiales a temperaturas mayores, es cubierta por la Norma ASTM E-102.

2.1.7.3. Definiciones

3.1 Viscosidad Saybolt Universal.- Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio universal calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Universales (SSU) a una temperatura especificada.

3.2 Viscosidad Saybolt Furol.- Es el tiempo en segundos, corregido, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

3.3 La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).

3.4 La viscosidad Saybolt Furol es, aproximadamente, 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y es recomendada para la caracterización de los productos del petróleo tales, como el combustible (Fuel-oil) y otros materiales residuales, que tengan viscosidades Saybolt Universales mayores de 1000 s.

2.1.7.4. Aparatos

4.1 Viscosímetro Saybolt

El viscosímetro deberá construirse de metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas. La punta del orificio, Furol o Universal, puede fabricarse como una parte sustituable. Debe tener una tuerca en el extremo inferior del mismo para asegurarlo en el baño. Se debe contar con un corcho u otro medio para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Una pequeña cadena o una cuerda puede unirse al corcho para facilitar su remoción.

4.2 Baño.- Es un recipiente con un líquido, en el cual se introduce el viscosímetro, con el fin de garantizar una posición vertical del mismo, y proporcionar un aislamiento térmico, provisto con una espiral controlada termostáticamente, que calienta o enfría el baño para que esté dentro de los valores medios especificados en la Tabla No.2. Los calentadores y la espiral deben colocarse a una distancia mínima de 75 mm (3") del viscosímetro. Debe contar con dispositivos para mantener el líquido del baño al menos a 6 mm (0.25") por encima del borde del rebosadero de flujo.

4.3 Un tubo en forma de pipeta.

4.4 Un soporte para termómetro.

4.5 Un termómetro para el viscosímetro Saybolt, de los que se indican en la Tabla No.1, para la lectura de la temperatura de la muestra.

4.6 Termómetros para el baño, de los que se usan en el viscosímetro o de otro tipo, pero de precisión similar.

4.7 Embudo con filtro equipado con tamices intercambiables de 850 μm (No.20), 150 μm (No.100) y 75 μm (No.200). También pueden emplearse embudos con filtro de diseño adecuado.

4.8 Matraz.

4.9 Cronómetro graduado en décimas (1/10) de segundo y aproximación hasta del 0.1%, cuando se realiza el ensayo durante un período de 60 minutos. Pueden aceptarse cronómetros eléctricos si son operados en un circuito de frecuencia controlada.

2.1.7.5. Muestreo

5.1 El muestreo del material deberá efectuarse de acuerdo con la Norma INV. E - 701.

2.1.7.6. Preparación de los aparatos

6.1 Para obtener la precisión deseada, se debe usar una punta con orificio Universal para lubricantes y destilados con tiempos de flujo mayores de 32 s. Para líquidos con tiempos de flujo superiores a 1000 s, no es conveniente usar este orificio.

6.2 Se debe usar una punta con orificio Furol para materiales residuales con tiempos de flujo superiores a 25 s , para lograr la precisión deseada. (Véase también el numeral 3.4).

6.3 Límpiase completamente el viscosímetro con un solvente apropiado de baja toxicidad; enseguida, extráigase todo solvente de la galería del viscosímetro. Así mismo, límpiase el matraz.

Nota 2: El émbolo suministrado comúnmente con el viscosímetro nunca deberá emplearse para limpieza, ya que puede dañar el borde de rebose y las paredes del viscosímetro.

6.4 Móntese verticalmente el viscosímetro en el baño y verifíquese el alineamiento con un nivel de burbuja colocado sobre el plano de la galería.

6.5 Colóquese el viscosímetro y el baño en un lugar donde se eviten corrientes de aire, cambios bruscos de temperatura ambiente, polvo o vapores que puedan contaminar la muestra.

6.6 Colóquese el matraz debajo del viscosímetro, de tal manera que su marca quede entre 100 y 130 mm (4" a 5") por debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y que la descarga de material apenas toque el cuello del matraz.

6.7 Llénese el baño hasta una cota 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por encima del borde de rebose del viscosímetro, con el líquido adecuado, escogido de acuerdo a las indicaciones de la Tabla No.2, para la temperatura de ensayo.

6.8 Prodúzcase la agitación y control térmico adecuado para el baño, de manera que la muestra de ensayo en el viscosímetro no varíe en más de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.10^{\circ}\text{F}$) después de alcanzar la temperatura escogida para el ensayo.

6.9 No deben efectuarse medidas de viscosidad por debajo de punto de rocío de la atmósfera de la habitación.

6.10 Para ensayos de calibración y referencia, manténgase la temperatura ambiente de laboratorio entre 20 y 30°C (68 y 86°F) y regístrese la temperatura real. Sin embargo, temperaturas ambiente hasta de 37.8°C (100°F), causarán errores en exceso del 1%

2.1.7.7. Calibración y estandarización

7.1 Calíbrese el viscosímetro Saybolt Universal por períodos no mayores de 3 años, midiendo el tiempo de flujo a 37.8°C (100°F) de un aceite de viscosidad normal, siguiéndose el procedimiento dado en el numeral 8. La Tabla No.A-1 indica los aceites de viscosidad normal que más se usan.

TABLA A-1
ACEITES DE VISCOSIDAD NORMAL SAYBOLT

Aceites de viscosidad normal	SSU a 37.8 °C (100 °F)	SSU a 98.9 °C (210 °F)	SSU a 50 °C (122 °F)
S3	36	...	...
S6	46	...	...
S20	100	...	...
S60	290	...	...
S200	930	...	...
S600	...	150	120

TABLA 2
MEDIOS RECOMENDADOS PARA EL BAÑO

Temperatura normal del ensayo °C (°F)	Medios recomendados para el baño	Max. Diferencial de temperatura °C (°F)	Precisión para el control funcional de la temperatura del baño °C (°F)
21.1 (70)	Agua	+ - 0.05 (0.10)	+ - 0.05 (0.10)
25.0 (77)	Agua	+ - 0.05 (0.10)	+ - 0.05 (0.10)
37.8 (100)	Agua o aceite de 50 a 70 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 0.15 (0.25)	+ - 0.05 (0.10)
50.0 (122)	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 0.20 (0.35)	+ - 0.05 (0.10)
54.4 (130)	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 0.30 (0.50)	+ - 0.05 (0.10)
60.0 (140)	Agua o aceite de 120 a 150 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 0.5 (1.0)	+ - 0.05 (0.10)
82.2 (180)	Agua o aceite de 300 a 370 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 0.80 (1.5)	+ - 0.05 (0.10)
98.9 (210)	Aceite de 330 a 370 SSU de viscosidad a 37.8 °C (100°F)	+ - 1.10 (2.0)	+ - 0.05 (0.10)

7.2 El tiempo de flujo del aceite de viscosidad normal deberá ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt. Si el tiempo de escurrimiento difiere del valor certificado en más de 0.2%, calcúlese un factor de corrección, F, para el viscosímetro así:

$$F = V/t$$

Donde

V = Valor certificado de viscosidad Saybolt del aceite de viscosidad normal.

t = Tiempo de flujo medido a 37.8°C (100°F).

Nota 3: Si la calibración se basa en una viscosidad normal que tenga un tiempo de flujo entre 200 y 600 segundos, el factor de corrección se aplica a todos los niveles de viscosidad, a todas las temperaturas.

7.3 Calíbrese el viscosímetro Saybolt Furol a 50°C (122°F) de la misma manera que arriba, empleando un aceite de viscosidad normal que tenga un tiempo mínimo de flujo de 90 segundos.

7.4 No deberán emplearse para ensayos de referencia, viscosímetros de orificios que requieren correcciones mayores del 1.0%

2.1.7.8. Procedimiento

8.1 Obténgase y contrólese la temperatura del baño para que sea la escogida para el ensayo.

- Las temperaturas normales de ensayo para medir viscosidades Saybolt Universal son 21.1, 37.8, 54.4 y 98.9°C (70, 100, 122 y 210°F).
- Las temperaturas de ensayo para medir viscosidades Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0 y 98.9°C (77, 100, 122 y 210°F).
- Otras temperaturas de ensayo que se emplean son 60.0° y 82.2°C (140° y 180°F).

8.2 Insértese un tapón de corcho, que tenga una cuerda unida para removerlo fácilmente, dentro de la cámara de aire en el fondo del viscosímetro. El corcho deberá ajustar suficientemente, para evitar el escape de aire, lo cual se evidencia por la ausencia de aceite sobre el corcho cuando éste se retira más tarde.

8.3 Si la temperatura escogida para el ensayo está por encima de la temperatura ambiente, el ensayo se puede apresurar calentando previamente la muestra en su recipiente original, no más de 1.7°C (3°F) por encima de la temperatura de ensayo. Nunca debe precalentarse la muestra dentro de los 28°C (50°F) cercanos a su punto de llama, puesto que las pérdidas por volatilidad, pueden alterar su composición.

8.4 Agítese bien la muestra y tamícese a través del embudo filtrador con malla de alambre de 150 µm (No.100), forzándola a caer directamente dentro del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de rebose.

8.5 Para los asfaltos líquidos que se usan para carreteras y que tienen componentes altamente volátiles, como los de curado rápido y medio, no debe permitirse el precalentamiento en un recipiente abierto.

- El material deberá vaciarse dentro del viscosímetro a la temperatura ambiente; si el material es demasiado viscoso para vaciarlo a esta temperatura, se debe calentar colocando la muestra en el recipiente original en un baño con agua a 50°C (122°F) por unos pocos minutos antes de verterla. Deberá omitirse el filtrado a través de la malla de alambre.
- Para ensayos por encima de la temperatura ambiente, se permite durante el período de calentamiento un mayor diferencial de temperatura que el indicado en la Tabla No.2, pero la temperatura del baño debe ajustarse dentro de los límites prescritos, antes del minuto final de agitación, minuto en el cual la temperatura de la mezcla debe permanecer constante.

8.6 Agítase la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad instalado sobre su soporte). Empléese un movimiento circular, girando entre 30 y 50 rpm en un plano horizontal. Cuando la temperatura de la mezcla permanezca constante a la temperatura de ensayo $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ (0.10°F), durante 1 minuto de agitación continua, retírese el termómetro.

Nota 4: No debe intentarse nunca ajustar la temperatura sumergiendo cuerpos calientes o fríos en la muestra, ya que esta forma de tratamiento térmico puede afectar la muestra y la precisión del ensayo.

8.7 Introdúzcase inmediatamente la punta de la pipeta extractora dentro de la galería, y aplíquese succión para extraer material, hasta que su nivel en la galería llegue por debajo del borde de rebose. No debe tocarse el borde del rebose con la pipeta; la altura de carga efectiva de la muestra podría reducirse.

8.8 Asegúrese que el matraz se halle en la posición adecuada; hálese el corcho del viscosímetro usando el cordel que tiene unido. Póngase en el mismo instante a funcionar el cronómetro, y deténgase en el instante en que el fondo del menisco de material alcance la marca de graduación en el frasco receptor. Anótese el tiempo de flujo en segundos, con aproximación a 0.1s.

2.1.7.9. Cálculos e informe

9.1 Multiplíquese el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro (numeral 7.2).

9.2 Infórmese el tiempo de flujo corregido como la viscosidad Saybolt Universal o Furol del material, a la temperatura a la cual se hizo el ensayo. Infórmense los valores con aproximación al segundo.

2.1.7.10. Correspondencia con otras normas

AASHTO T 72

ASTM D 88

2.1.8 Peso específico (Método del picnometro)

I.N.V. E – 707

2.1.8.1. Objeto

1.1 Esta norma describe los procedimientos que deben seguirse para la determinación del peso específico y del peso unitario de materiales asfálticos líquidos, mediante el empleo de un picnómetro.

2.1.8.2. Definiciones

2.1 Peso específico.- Es la relación entre el peso de un volumen dado del material a 25°C (77°F) o a 15.6°C (60°F) y el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura y se expresa en la siguiente forma:

Peso específico, 25/25°C (77/77°F) o 15.6/15.6°C (60/60°F)

2.2 Peso unitario.- Es el peso por unidad de volumen y se expresa así:

Peso unitario, 25°C (77°F) g/cm³, o 15.6°C (60°F) g/cm³

2.1.8.3. Equipo y materiales

3.1 Picnómetro.- Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica, con boca esmerilada en la cual debe ajustar exactamente y sin fugas, un tapón de vidrio de 22 a 26 mm de diámetro, en el centro del cual llevará un orificio de 1.0 a 2.0 mm de diámetro. La superficie superior del tapón será plana y pulida, y la inferior tendrá forma cóncava para facilitar la expulsión del aire del picnómetro, el cual

tendrá una capacidad de 24 a 30 ml y un peso, incluido el tapón, no superior a 40 g. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4.0 a 6.0 mm en el centro.

3.2 Baño de agua.- Un baño de agua provisto de termostato que pueda regular la temperatura del ensayo con una precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0.2°F)

3.3 Termómetros.- Calibrados y con liquido de vidrio transparente de inmersión total, del rango apropiado con gradaciones de por lo menos cada 0.1°C (0.2°F) y un error máximo de escala de 0.1°C (0.2°F) de acuerdo con la especificación E1 de la ASTM. Los termómetros generalmente utilizados son de 63°C pero puede emplearse cualquier otro termómetro con precisión igual.

3.4 Recipiente o vaso de vidrio.- De forma baja y de boca ancha de 600 ml de capacidad.

3.5 Balanza.- Con capacidad mínima de 150 g y precisión de ± 0.1 mg.

3.6 Soporte del picnómetro.- Es conveniente disponer de soportes adecuados que mantengan los picnómetros verticales y a la profundidad correcta.

3.7 Agua destilada o desionizada.- Para llenar del picnómetro y el vaso; deberá disponerse de agua desionizada o agua destilada recién hervida y enfriada.

3.8 Acetona líquida de limpieza.- Para la limpieza completa de los picnómetros, se deberá utilizar cualquier producto detergente adecuado, no recomendándose el empleo de mezcla crómica, por los riesgos que implica su utilización.

2.1.8.4. Preparación del equipo

4.1 Llénese parcialmente el vaso de vidrio de boca ancha con agua preparada según el numeral 3.7 hasta un nivel tal, que cuando se sumerja el picnómetro, la parte superior de este diste más de 40 mm de la superficie.

4.2 Una vez ajustada la temperatura del baño a la del ensayo con la precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (0.2°F), se sumerge parcialmente el vaso en el baño, debiendo quedar su boca por encima de la superficie y su fondo a una profundidad no menor de 100 mm, sujetándolo firmemente en esta posición.

2.1.8.5. Calibración del picnómetro

5.1 Se limpia perfectamente el picnómetro y su tapón con el líquido de limpieza, enjuagándolo a continuación con agua destilada, después con acetona y secándolo finalmente, utilizando si fuera preciso, una corriente filtrada de aire. Esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración, o bien cuando se observe cualquier falla en el escurrimiento uniforme de los líquidos, en las paredes interiores del picnómetro o en el capilar del tapón. Normalmente, basta limpiar bien el picnómetro entre cada determinación con algún disolvente adecuado, como éter de petróleo, seguido de un secado al vacío.

5.2 Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A.

5.3 Se seca el vaso del baño y se llena el picnómetro con agua destilada o desionizada, colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se sumerge completamente el picnómetro en el vaso y se aprieta entonces el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua.

- Es recomendable que el agua o la muestra en el picnómetro tenga una temperatura ligeramente inferior a la de ensayo antes de sumergir el picnómetro en el vaso. Si la temperatura de ensayo es inferior a la ambiente, utilícese un baño auxiliar a menor temperatura. Es importante que no queden burbujas de aire en el

líquido, y será necesario esperar hasta cuando éstas alcancen la superficie, para colocar el tapón.

5.4 Se deja el picnómetro en el interior del vaso por un mínimo de 30 minutos, se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón pasando suavemente y una sola vez un paño seco por la misma; a continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se pesa con aproximación de 0.1 mg. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

- En ningún caso se volverá a secar la parte superior del tapón aunque se forme una pequeña gota de agua a través del orificio, debido a la expansión. Si durante la pesada se condensase humedad en el picnómetro, séquese su parte exterior rápidamente excluyendo el tapón, antes de pesarlo. Si la temperatura de ensayo es más alta que la ambiente, deberá esperarse hasta cuando el picnómetro alcance ésta antes de ser pesado.

5.5 Si se va a determinar el peso específico referido al agua, a una temperatura distinta de 25°C (77°F), o si se desea el peso unitario a una temperatura que no sea la de 25°C (77°F), deberá volverse a calibrar el picnómetro a dicha temperatura.

2.1.8.6. Procedimiento para líquidos

6.1 Se tomaran las precauciones necesarias para asegurar que la muestra para ensayo sea representativa de la muestra existente en el laboratorio, la cual debiera ser homogénea y no estar contaminada.

6.2 Si fuera necesario, se podrá calentar con cuidado la muestra en una estufa o baño—rnaria hasta que esté lo suficientemente fluida para verterla. evitando cualquier pérdida de productos volátiles. en cualquier caso, la muestra se homogeneiza completamente y se vierten unos 200 gr en un recipiente limpio y seco. Esta muestra para ensayo puede igualmente, sí fuera necesario, calentarse

lo suficiente para el llenado del picnómetro, tomando las mismas precauciones indicadas antes.

6.3 Para los materiales de consistencia líquida, se utilizara el picnómetro de gay—lussac, el cual deberá calibrarse a la temperatura de ensayo. se pesa con aproximación de 0.1 mg un picnómetro limpio y seco con su tapón, y se designa esta masa por $m' 1$.

6.4 el picnómetro se llena con la muestra para ensayo, calentada sí fuera necesaria como ya se indicó antes, así como el picnómetro, para facilitar la expulsión de burbujas de aire, y se sumerge hasta el cuello en el vaso de agua, el cual deberá estar sumergido en el baño de agua a la temperatura de ensayo. se deja en el vaso el picnómetro un tiempo suficiente para permitir la expulsión de burbujas de aire.

6.5 se saca el picnómetro del vaso y se deja enfriar a temperatura ligeramente inferior a la del ensayo. a continuación se cierra firmemente el picnómetro con su tapón, evitando cuidadosamente dejar burbujas de aire atrapadas en el interior, y se vuelve a sumergir de nuevo el picnómetro en el vaso de agua hasta una profundidad en la que sobresalgan solamente unos 2 mm de la parte superior del tapón. en estas condiciones se deja en reposo el picnómetro para estabilizar la temperatura unos 30 minutos, limpiando con cuidado cualquier exceso de muestra que salga por el orificio del capilar, cuidando que el menisco quede exactamente enrasado con el nivel superior del capilar.

6.6 se saca el picnómetro del vaso y se deja a temperatura ambiente unos momentos, quitando a continuación toda traza de agua y muestra de su superficie con un paño limpio y seco que no deje hilos, y se pesa con aproximación de 0.1 mg ; se designa esta masa por m_3 .

2.1.8.7. Cálculos

7.1 Densidad relativa ($t^{\circ} C / t^{\circ} C$) .- Se expresara como “Densidad relativa ($t^{\circ} C / t^{\circ} C$)” , donde t es la temperatura a la que se ha realizado el ensayo con un picnometro calibrado a la misma temperatura ; si esta no se especifica, t se entenderá que es la temperatura normalizada de $25^{\circ} C$.

7.2 En materiales líquidos.- Se calcula la densidad relativa ($t^{\circ} C / t^{\circ} C$) de la muestra, aproximada a la cuarta cifra decimal, mediante la expresión :

$$\text{densidad relativa (} t^{\circ} C / t^{\circ} C \text{)} = (m_3 - m'_1) / (m_2 - m_1)$$

siendo :

m_1 = masa del picnometro vacío, a $t^{\circ} C$, en gr.

m'_1 = masa del picnometro vacío, a $t^{\circ} C$, en gr.

m_2 = masa del picnometro lleno de agua, a $t^{\circ} C$, en gr.

m_3 = masa del picnometro lleno de muestra, a $t^{\circ} C$, en gr.

2.1.8.8. Informe

8.1 Infórmese el peso específico y el peso unitario con aproximación a tres decimales, así como la temperatura del ensayo de $25/25^{\circ}C$ ($77/77^{\circ}F$) o de $15.6/15.6^{\circ}C$ ($60/60^{\circ}F$).

2.1.8.9. Correspondencia con otras normas

ASTM D 70

NLT 122

3. EMULSIONES ASFALTICAS

El uso de las emulsiones para construcción y mantenimiento viales no es nuevo. Las emulsiones inicialmente se desarrollaron en los primeros años siguientes al 1900. Sin embargo, solo hasta 1920, aparecieron las emulsiones que hoy conocemos. Su primer uso estuvo principalmente restringido a aplicaciones por rociado y como paliativo del polvo. El uso de las emulsiones fue relativamente lento. Fue restringido por la disponibilidad de tipos y la falta de conocimientos sobre cómo debían usarse. El continuo desarrollo de nuevos tipos y grados, acorde con equipos y prácticas de construcción mejorados, ofrecen ahora un amplio espectro de alternativas, que permiten cumplir con virtualmente cualquier requisito vial. La selección y uso sensatos pueden redundar en beneficios económicos de significación.

La historia de los usos revela un incremento lento pero constante en la cantidad de emulsión empleada entre 1930 y la mitad de los 50. Después de la segunda guerra mundial, las cargas y volúmenes de tránsito crecieron tanto que los diseñadores de carreteras empezaron a restringir el uso de estos materiales. Especificaron, en cambio, mezclas de planta en caliente de alta calidad que requerían el uso de cemento asfáltico. En tanto que el volumen de cemento asfáltico usado ha mostrado un rápido incremento desde 1953, el uso combinado de otros productos asfálticos ha permanecido casi constante. Pero se justifica notar una tendencia interesante, ha habido un ascenso permanente en el volumen usado de las emulsiones.

Los principales usos de las emulsiones son :

- Tratamiento superficiales
- Parcheos y roturas delgadas
- Estabilización
- Sellos de lechada
- Mezclas para capas de base y de superficie

En los años que recién acaban de pasar, los siguientes factores han contribuido a despertar interés en el uso de las emulsiones:

- La crisis energética de los tempranos setentas que motivó medidas de conservación. La emulsión no requiere un solvente de petróleo para su licuación. (Sin embargo, algunos grados de rotura media contienen cantidades limitadas de solventes para mejorar sus características de mezclado). También, las emulsiones pueden usarse (en la mayor parte de los casos) sin adición de calor. Ambos son aspectos que contribuyen al ahorro de energía.
- Disminución de la polución atmosférica. Las emisiones de hidrocarburos de las emulsiones son pequeñas o nulas.
- La capacidad de ciertos tipos de emulsiones para cubrir superficies húmedas de agregados, que es otro aspecto de ahorro de energía.

- Disponibilidad de mayor número de tipos de emulsión, en concordancia con procedimientos mejorados de laboratorio que permiten cumplir con requisitos de diseño y construcción.
- Ahorros potenciales de energía por el uso menor de combustibles.

Una emulsión tiene tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsificante. En algunas ocasiones el agente emulsificante puede contener un estabilizador.

3.1 ENSAYOS REQUERIDOS PARA EMULSIONES ASFALTICAS

La información de los siguientes laboratorios:

Viscosidad saybolt furol	E - 763
Contenido de agua en el volumen	E - 761
Estabiilidad almacenamiento sedimentacion a los 7 dias	E - 764
Destilacion	E - 762
Tamizado retenido t 20	E - 765
Rotura en dioctilsulfosuccinato sodico %	E - 766
Mezcla con cemento %	E - 770
Carga de particula	E - 767
pH	E - 768
Residuos de la destilacion	
Penetracion (25° c, 100 g, 5 seg.) 0,1 mm	E - 706
Ductilidad (25 ° c, 5 cm-m) cm	E - 702
Solubilidad en tetracloruro de carbono %	E - 713
peso especifico	E - 707

Fue tomado de las normas INVIAS 1996

3.1.1 Viscosidad saybolt de emulsiones asfalticas

I.N.V. E-763

3.1.1.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la viscosidad de las emulsiones asfálticas por medio del viscosímetro Saybolt.

1.2 Las determinaciones se realizan a 25°C o 50°C, (77 o 122°F), pudiendo emplearse el viscosímetro, aún en el caso en que el tiempo empleado para fluir, sea menor de 20 segundos.

3.1.1.2. Aparatos

2.1 Viscosímetro.- Un viscosímetro del tipo Saybolt, semejante al utilizado para ensayos de viscosidad Saybolt en otros materiales asfálticos (I.N.V. E-714) con sus aditamentos).

2.2 Tamiz.- Un tamiz de tamaño adecuado con abertura de 850 µm (No.20).

2.3 Baño de agua - Que permita mantener la temperatura a 25°C ± 0.1°C (77 ± 0.2°F) y a 71 ± 2.50°C (160 ± 4.5°F)

3.1.1.3. Procedimiento

3.1 Ensayo a 25°C (77°F). (Para emulsiones con porcentaje de agua mayor del 35%).

- Se agita bien la muestra procurando que no se formen burbujas y se echa en un frasco de 100 cm³. El frasco se coloca en un baño de

agua a la temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 0.2^{\circ}\text{F}$) durante treinta minutos, mezclando al final la muestra, para lo cual se invierte el frasco varias veces, pero lentamente para evitar que se forme espuma.

- Después de haber mantenido la muestra para ensayo en el baño a 25°C (77°F) y haberla agitado, se echa en el viscosímetro, bien limpio, una pequeña cantidad a través del tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No.20), dejando que fluya después de haber manchado todas sus paredes.
- Se coloca el tapón, el cual debe estar unido a un cordel que facilite su remoción, en la cámara de aire del viscosímetro; se vierte la muestra a través del tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No.20) directamente en el tubo del viscosímetro hasta que sobrepase el borde de rebose de la galería.
Se agita la muestra con un termómetro de viscosidad equipado con soporte, mediante un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal, hasta que la temperatura de la emulsión alcance la del ensayo y permanezca durante un minuto dentro de $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ de la misma.
- Se saca el termómetro de la muestra y se retira la emulsión de la galería, utilizando la pipeta extractora, hasta que quede por debajo del borde de rebose, teniendo especial cuidado para que la punta de la pipeta no lo toque.
- Se coloca el matraz de tal manera que la emulsión que cae del viscosímetro golpee el cuello del mismo.
- Se retira rápidamente el tapón del fondo del viscosímetro y en el mismo instante se pone en funcionamiento el cronómetro, el cual se

detiene en el momento en que el fondo del menisco alcance la marca de graduación del matraz, anotándose la lectura del cronómetro.

3.2 Ensayo a 50°C (122°F) (Para emulsiones con porcentaje de agua igual o menor del 35%).

- Se agita bien la muestra sin incorporar burbujas y se echan unos 100 cm³ en un vaso de vidrio de 400 cm³. El vaso con la emulsión se sumerge en un baño de agua, de manera que el fondo quede a 50 mm de la superficie y se mantiene en posición vertical. La temperatura del baño debe ser de 71 ±2.5°C (160° ± 4.5°F).
- Con objeto de obtener una distribución uniforme de la temperatura, se agita la emulsión con el termómetro del viscosímetro mediante un movimiento circular de 60 vueltas por minuto (el termómetro deberá ir tocando las paredes y el fondo del vaso). Se tendrá cuidado para no producir burbujas.
- La emulsión que se va a ensayar se calentará, dentro del baño, mantenido a la temperatura de 71 ± 2.5°C (160 ± 4.5°F), hasta que alcance 51.5 ± 0.3°C (125 ± 0.5°F).
- Se coloca el tapón conforme se indicó en el numeral 3.1. Una vez que la emulsión alcance la temperatura indicada, se vierte inmediatamente a través del tamiz de 850 µm (No.20), en el tubo del viscosímetro, hasta que rebose en la galería del aparato.
- La emulsión se sigue agitando con el termómetro, con las mismas revoluciones hasta alcanzar la temperatura del ensayo. Se tendrá cuidado para no producir burbujas durante la agitación. -La temperatura del baño se regula para lograr que la emulsión se

mantenga, por lo menos durante 1 minuto, a $50 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 0.09^{\circ}\text{F}$).

- Se saca entonces el termómetro, y se determina la viscosidad como se indica en los tres últimos párrafos del numeral 3.1.

3.1.1.4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculos.- El tiempo, en segundos, que demora el flujo de los 60 cm^3 de emulsión, conforme se describe en este método, corregidos por el factor de calibración, si lo hubiere, es la viscosidad Saybolt Furol o Saybolt Universal de la muestra según el orificio utilizado en el viscosímetro, a la temperatura de ensayo.

Los resultados se expresarán con una aproximación de 1 segundo.

4.2 Precisión.- El criterio siguiente se puede emplear para juzgar la validez de los resultados.

Los resultados no diferirán del valor medio, en más de las siguientes cantidades:

Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Viscosidad seg	Repetición % de la media	Reproducción % de la media
25	de 20 a 100	5	15
50	de 75 a 400	10	20

3.1.1.5. Correspondencia con otras normas

NLT - 138

ASTM D 244

3.1.2 Agua en emulsiones asfálticas

I.N.V. E-761

3.1.2.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar el contenido de agua en las emulsiones asfálticas.

1.2 El método se basa en la destilación a reflujo de una muestra del material, junto con un disolvente volátil no miscible con el agua, el cual al evaporarse facilita el arrastre del agua presente, separándose completamente de ella al condensarse.

3.1.2.2. Equipo

2.1 El aparato para la destilación consistirá básicamente en una retorta metálica o un matraz de vidrio, calentado por un medio apropiado y provisto de un refrigerante de reflujo que descargue en un colector graduado, el cual sirve para recoger y medir el agua condensada y devolver el disolvente al matraz. El tipo de aparato empleado no es un punto fundamental en este método.

2.2 Retorta metálica.- La retorta tendrá forma cilíndrica y estará provista de una pestaña en el borde, a la cual se sujeta la tapa por medio de una abrazadera, produciendo un cierre lo más hermético posible. La tapa será también metálica y estará provista de un orificio de 25 mm de diámetro interior.

2.3 Matraz de vidrio.- El matraz de vidrio será de cuello corto y fondo redondo, de vidrio resistente al calor y de una capacidad de 500 cm³

2.4 Mecheros.- Con la retorta metálica se empleará un mechero de gas anular de unos 100 mm (4") de diámetro interno, provisto de agujeros para la salida del gas en la parte interior. Con el matraz de vidrio se empleará un mechero de gas ordinario o un calentador eléctrico.

2.5 Refrigerante.- El refrigerante de reflujo estará enfriado por agua y será del tipo recto, con un diámetro interior del tubo comprendido entre 9.5 y 12.5 mm (3/8" y 1/2") y provisto de una camisa de refrigeración no menor de 400 mm (15 3/4") de longitud. El extremo del refrigerante que queda dentro del colector tendrá forma de pico de flauta con un ángulo de 30 ± 5 grados respecto al eje vertical del refrigerante. Se montará sobre el colector.

2.6 Colector.- El colector será de vidrio, estará graduado en divisiones de 0.05 cm³ desde 0 a 2 cm³ y en divisiones de 0.1 cm³, de 2 a 25 cm³.

3.1.2.3 Disolvente

El disolvente será xileno u otro producto de la destilación del petróleo, con un 98% de destilado entre 120 y 250°C (248 y 482°F).

3.1.2.4. Muestra

La muestra de laboratorio será verdaderamente representativa del material que se vaya a ensayar, y la porción de muestra para el ensayo será a su vez representativa respecto de la muestra del laboratorio.

3.1.2.5. Procedimiento

5.1 De acuerdo con la información del fabricante de la emulsión, cuando el material que se va a ensayar contiene menos del 25% de agua, se vierten dentro de la retorta o matraz 100 ± 0.1 g de la muestra; cuando el material contiene más del 25% de agua la muestra será de 50 ± 0.1 g. Una vez pesada la muestra, se mezcla bien con una cantidad, igual en volumen, de disolvente, agitando el recipiente y teniendo cuidado para evitar pérdidas de material.

5.2 Las conexiones entre la retorta o matraz, el colector y el refrigerante. El extremo del refrigerante que entra en el colector debe tener una posición tal que su extremo quede sumergido a una profundidad menor de 1 mm (0.04") por debajo del nivel del líquido en el colector después de que se han establecido las condiciones de destilación. Cuando se emplee la retorta metálica, se coloca, entre el reborde de la misma y la tapa, un papel grueso del tipo para juntas, humedecido con el disolvente. En el extremo superior

del refrigerante se coloca un poco de algodón sin apelmazar, para evitar que la humedad atmosférica se condense dentro del tubo.

5.3 El mechero anular que se emplea con la retorta metálica se coloca unos 75 mm (3") por encima del fondo de la retorta al comienzo de la destilación, y, en el transcurso de ésta, se va bajando gradualmente. El calor se aplica regulando su intensidad de tal forma, que el reflujo del disolvente condensado caiga a una velocidad de 2 a 5 gotas por segundo.

5.4 Se continúa la destilación a la velocidad especificada hasta que no se vea agua en ninguna parte del aparato, excepto en el colector, y el volumen de agua en éste se mantenga constante durante 5 minutos. Si se observa en el tubo del refrigerante un anillo de agua condensada, se puede eliminar aumentando la velocidad de destilación durante algunos minutos.

3.1.2.6. Cálculos y resultados

Se calcula el contenido de agua como porcentaje, así:

$$\text{Contenido de agua, \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = Volumen de agua en el colector en cm³.

B = Peso de la muestra de ensayo en gramos.

3.1.2.7. Precisión

El criterio siguiente se puede seguir para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con un 95% de probabilidad:

7.1 Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios, para contenidos de agua entre 30 y 50%, si no difieren en más del 0.8%.

7.2 Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios, para contenidos de agua entre 30 y 50%, si no difieren en más del 2.0%.

3.1.2.8. Correspondencia con otras normas

NLT	137
ASTM	D 244

3.1.3 Sedimentación en las emulsiones asfálticas

I.N.V. E-764

3.1.3.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para realizar el ensayo de sedimentación de las emulsiones asfálticas.

1.2 Mediante este ensayo se valora la sedimentación que se produce durante el almacenamiento de las emulsiones asfálticas.

3.1.3.2. Aparatos

2.1 Probetas.- Dos probetas de vidrio, con base y tapón, de 500 cm³ de capacidad, con diámetro exterior de 5.0 ± 0.5 cm y graduadas cada 5 cm³ hasta la capacidad total.

2.2 Pipeta.- Una pipeta de vidrio, de 60 cm³ de capacidad, o un sifón de la forma más conveniente.

2.3 Vasos.- Cuatro vasos de vidrio de boca ancha (beaker), resistentes al calor y de 600 cm³ de capacidad.

2.4 Horno.- Un horno igual al que se describe en la norma de pérdidas por calentamiento de aceites y compuestos asfálticos I.N.V. E-108.

Nota: Puede utilizarse una probeta provista de dos salidas laterales a los niveles adecuados para la toma de las muestras.

3.1.3.3. Procedimiento

3.1 Se vierten dentro de cada una de las probetas 500 cm³ de muestra, se tapan herméticamente y se dejan en un lugar del laboratorio en completo

reposo. Al final del tiempo especificado, siete (7) días, se sacan, por medio de la pipeta o el sifón, 55 cm³ de la parte superior de cada probeta, procurando no alterar el resto de la muestra. Después de homogeneizar independientemente las dos muestras tomadas, se pesan exactamente 50 g de cada una de ellas en dos vasos de vidrio de boca ancha, de 600 cm³, previamente tarados y se someten durante tres (3) horas a la temperatura de 163°C (352°F) en el horno.

Se dejan enfriar las muestras y se pesan con precisión de 0.1 g para determinar el residuo por evaporación.

3.2 Después de sacar las muestras de la parte superior, se extraen cuidadosamente, con sifón o pipeta aproximadamente 390 cm³ de cada una de las dos probetas. El resto de material que queda en ellas se homogeniza y se pesan exactamente 50 g de cada una de ellas en vasos de vidrio de 600 cm³, determinándose los residuos por evaporación en la misma forma indicada en el numeral 3.1.

3.1.3.4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculos.- Se calcula el residuo por evaporación en porcentaje respecto a la muestra total, para cada una de las cuatro determinaciones realizadas

Se calcula el promedio de las dos determinaciones correspondientes a las muestras tomadas de la parte superior de las probetas y de las correspondientes a las muestras tomadas de la parte inferior de las mismas.

La diferencia en valor absoluto entre los dos promedios antes de terminados, según la expresión que aparece adelante, es el resultado del ensayo de sedimentación.

$$\text{Sedimentación \%} = (P_{i1} + P_{i2}) - (P_{s1} + P_{s2})$$

Siendo:

P_i = pesos del residuo parte inferior.

P_s = pesos del residuo parte superior.

4.2 Expresión de los resultados.- Los resultados se expresarán con aproximación al porcentaje entero más próximo.

4.3 Precisión.- Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados:

Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Sedimentación % en peso	Repetición
De 0 a 1.0	0.4 % en peso
Superior a 1.0	5 % de la media

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables si no difieren más de la siguiente cantidad:

Sedimentación	Repetición
---------------	------------

% en peso	
De 0 a 1.0	0.8 % en peso
Superior a 1.0	10 % de la media

3.1.3.5. Observaciones

5.1 Es imprescindible que en el lugar elegido para dejar las probetas, éstas no sufran golpes ni vibraciones.

5.2 Hay que tener el máximo cuidado al sifonar las muestras de la parte superior para no alterar el resto del contenido de las probetas.

3.1.3.6. Correspondencia con otras normas

NLT - 140

ASTM D 244

3.1.4 Destilación de emulsiones asfálticas

I.N.V. E-762

3.1.4.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para efectuar el ensayo de destilación de las emulsiones asfálticas.

1.2 En este ensayo se destila una muestra de 200 g de la emulsión hasta una temperatura de 260°C (500°F). Se determina la proporción del residuo y a este material se le pueden realizar los ensayos de penetración, solubilidad, ductilidad, peso específico y cenizas para caracterizar el material asfáltico empleado.

3.1.4.2. Aparatos

2.1 Aparato de destilación compuesto por:

- Retorta de aleación de aluminio.- Una retorta cilíndrica de aproximadamente 241 mm (9½") de altura y 95 mm (3 3/4") de diámetro interior, provista de un mechero anular con orificios en su superficie interior para fijarlo alrededor de la parte exterior de la retorta. Las superficies de contacto entre la retorta y su tapa, deben tener un acabado que proporcione un cierre lo más hermético posible.
- Tubo de desprendimiento.- Un tubo de desprendimiento de vidrio, sirve de conexión entre el refrigerante y la retorta.
- Refrigerante.- Un refrigerante recto, con camisa metálica.
- Probeta.- Una probeta con graduaciones cada 0.1 cm³, de 100 cm³ de capacidad.
- Protector de zinc.- Un protector de zinc para cubrir el tubo de desprendimiento.

2.2 Termómetros.- Dos termómetros para destilación a baja temperatura de acuerdo con las siguientes características:

Referencia	Escala	Graduación	Longitud Total mm	Error máximo °C
ASTM 7C	°C -2a+300	°C 1.0	386	0.5

2.3 Tamiz.- Un tamiz con abertura de 300 μm (No.50).

2.4 Balanza capaz de pesar 2.500 g con una precisión de ± 0.1 g.

3.1.4.3. Procedimiento

3.1 Se monta el aparato, teniendo cuidado de que todas las conexiones queden bien ajustadas.

3.2 Se pesan, 200 ± 0.1 g de la emulsión en la retorta previamente tarada. En el tarado se incluyen la retorta, la tapa, la abrazadera, los termómetros y la junta de papel impregnada, si se emplea.

3.3 Una junta de papel impregnada en aceite mineral puede emplearse entre la retorta y su tapa, o también puede conseguirse el cierre por un acabado adecuado de las superficies de contacto. La tapa se aprieta firmemente sobre la retorta.

3.4 Los termómetros se acoplan en los agujeros más pequeños de la tapa por medio de tapones perforados, de manera que la parte inferior del bulbo de uno de ellos quede a una distancia de 6.5 mm ($\frac{1}{4}$ ") del fondo de la retorta y el bulbo del otro esté, aproximadamente, a una distancia de 165 mm ($6\frac{1}{2}$ ") del fondo de la retorta.

3.5 Se coloca el mechero anular alrededor de la retorta, aproximadamente a 152 mm (6") de su fondo. Se enciende este mechero y se ajusta de manera que se obtenga una llama pequeña. También se calienta el tubo de desprendimiento por medio de un mechero Bunsen, provisto de mariposa, para evitar que el agua se condense en él.

3.6 Cuando pueda leerse la temperatura en el termómetro más bajo, aproximadamente a 215°C, (420°F), se baja el mechero anular hasta una posición a nivel del fondo de la retorta. Se eleva la temperatura hasta $260 \pm 5^\circ\text{C}$ ($500 \pm 10^\circ\text{F}$) y se mantiene ésta durante 15 minutos. La destilación se llevará a cabo en un tiempo de 60 ± 15 minutos desde el comienzo de la aplicación de calor.

Nota 1: La situación del mechero al comenzar el ensayo puede variarse según el desarrollo del mismo. Puede elevarse para disminuir el riesgo de formación de espuma o bajarse hasta la parte media de la retorta, cuando se ensayen emulsiones que no contengan disolventes. Un cambio súbito en la lectura del termómetro superior indica que hay espuma a la altura de su bulbo, debiendo en este caso parar el calentamiento hasta que cese la formación de espuma.

3.7 Inmediatamente después de terminado el período de calentamiento se pesa la retorta y accesorios, tal como se describe en el numeral 3.2 y se anota el volumen de aceite destilado, con aproximación de 0.5 cm^3 , conservándolo si se necesita su identificación.

Nota 2: La retorta de aleación de aluminio pesa, debido al empuje del aire a esta temperatura, 1.5 g menos que a temperatura ambiente. Para corregir este error se añaden 1.5 g al peso obtenido al final del ensayo, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación.

3.8 Se quita la tapa de la retorta, se agita el residuo e inmediatamente se pasa éste a través del tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No.50) a los moldes y recipientes adecuados para realizar los ensayos necesarios, dejando enfriar el residuo en éstos, sin cubrirlos, a la temperatura ambiente.

3.1.4.4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculos y expresión de los resultados.- Se calcula el porcentaje de residuo por destilación, así como el de aceite destilado, referidos al total de la emulsión, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\text{Residuo por destilación \%} = \frac{(P_f - P_t) + 1.5}{P_i - P_t} \times 100$$

Siendo: P_t = Peso retorta y accesorios.

P_i = Peso retorta y accesorios + emulsión.

P_f = Peso retorta y accesorios + residuo.

El % de aceite destilado se calcula con base en el volumen recogido en la probeta, con la siguiente expresión:

$$\text{Aceite destilado \%} = \frac{\text{Volumen aceite destilado en c.c.}}{2}$$

Los resultados se expresarán con aproximación del 1%

4.2 Precisión.- El criterio siguiente se puede seguir para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95% de probabilidad.

Los resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador se considerarán satisfactorios si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Residuo por destilación % en peso	Repetición % en peso
--------------------------------------	-------------------------

De 50 á 70	1.0
------------	-----

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán satisfactorios si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Residuo por destilación % en peso	Reproducción % en peso
De 50 á 70	2.0

3.1.4.5. Correspondencia con otras normas

NLT - 139

ASTM D 244

3.1.5 Tamizado de las emulsiones asfálticas

I.N.V. E-765

3.1.5.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de tamizado de las emulsiones asfálticas.

1.2 Mediante este ensayo se determina la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la emulsión. Los grumos, así como la película que se forma en la parte superior, pueden ser debidos a la rotura de la emulsión, contaminaciones, mala fabricación, etc.

3.1.5.2. Aparatos y materiales

2.1 Tamiz.- Un tamiz de abertura 850 μm (No.20), montado sobre un bastidor de unos 80 mm de diámetro, provisto de un aro que sirva de soporte para mantenerlo sobre un vaso o recipiente apropiado.

2.2 Fondo.- De tamaño apropiado para acoplarse a la parte inferior del tamiz.

2.3 Solución de oleato sódico.- Una solución de oleato sódico al 2% en agua destilada.

2.4 Solución de emulsionante catiónico.- Una solución de emulsionante catiónico al 2% en agua destilada.

3.1.5.3. Procedimiento

3.1 Se taran el tamiz y el fondo. Después de tarados se moja la malla del tamiz con solución de oleato sódico o de emulsionante catiónico, según el tipo de emulsión que se ensaya, sea aniónica o catiónica. Se pesan 1.000 g de la emulsión en un recipiente y se hacen pasar a través del tamiz. El recipiente y el residuo que quede en el tamiz se lavan perfectamente con la

misma solución, hasta que el líquido de lavado salga de color claro. Se coloca entonces el fondo debajo del tamiz y se calienta durante 2 horas en un horno regulado a 105°C (221°F). Se deja enfriar en un desecador y se pesa.

3.1.5.4 Cálculos y resultados

4.1 Cálculos.- Se calcula el porcentaje de muestra retenido en el tamiz de la manera siguiente:

$$\text{Muestra retenida, \%} = \frac{B - A}{10}$$

Donde:

A = Peso del tamiz y el fondo, en gramos.

B = peso del tamiz, el fondo y residuo, en gramos.

4.2 Expresión de los resultados.- Los resultados se expresarán en porcentaje en peso de residuo retenido en el tamiz, respecto a la muestra total, con aproximación del 0.01%

Si el residuo es menor de 0.1%, informar el resultado como "menor de 0.1%".

4.3 Precisión.- Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados. (95% de probabilidad):

Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de tamizado % en peso	Repetición % en peso
De 0 a 0.1	0.03

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de tamizado % en peso	Repetición % en peso
De 0 a 0.1	0.08

3.1.5.5. Observaciones

5.1 Es imprescindible un buen lavado del residuo que queda en el tamiz con la solución adecuada.

5.2 No se debe sobrecalentar el residuo durante la desecación.

5.3 El resultado del ensayo está muy afectado por la toma de la muestra. Si la muestra se toma en la boquilla de un distribuidor, hay que evitar que se forme espuma. Si se toma en un tanque, no se debe coger la película que sobrenada en la superficie.

3.1.5.6. Correspondencia con otras normas

NLT - 142

ASTM D 244

3.1.6 Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas

I.N.V. E-766

3.1.6.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de estabilidad de las emulsiones asfálticas aniónicas y catiónicas de rotura rápida por medio del cloruro cálcico y del dioctilsulfosuccinato sódico respectivamente.

1.2 Mediante él, se determina la cantidad de material bituminoso que se separa de la emulsión en las condiciones del ensayo, siendo una medida comparativa de la estabilidad de la misma.

3.1.6.2. Aparatos y materiales

- 2.1** Tamices.- Tres tamices de abertura 1.40 mm (No.14).
- 2.2** Vasos.- Tres vasos metálicos de 600 cm³ de capacidad cada una, de 70 a 80 mm (2.8 a 3.2") de diámetro.
- 2.3** Varillas.- Tres varillas de metal, con la punta redondeada y de un diámetro aproximado de 8 mm (5/16").
- 2.4** Bureta.- Una bureta de vidrio de 50 cm³ de capacidad, graduada en 0.1 cm³.
- 2.5** Horno.- Un horno provisto de control termostático capaz de mantener una temperatura de 163 ± 3°C (325 ± 6°F).
- 2.6** Solución de cloruro cálcico 0.02 N.- Disolver 1.11 g de Cl₂Ca en agua destilada y diluir hasta 1 litro.
- 2.7** Solución de dioctilsulfosuccinato sódico al 0.8%. - Disolver 8 g de esta sustancia en 992 g de agua destilada.

3.1.6.3. Procedimiento

3.1 Previamente a la ejecución del ensayo debe determinarse el porcentaje de residuo de la emulsión, por medio de los ensayos de destilación o de residuo por evaporación, Normas INV E-762 o E-771 respectivamente.

3.2 Se tara cada uno de los conjuntos de vaso, varilla y tamiz.

3.3 Se pesan 100 ± 0.1 g de la emulsión dentro de cada uno de los tres vasos de 600 cm^3 previamente tarados. Si la emulsión es aniónica se añaden, por medio de la bureta, 35 cm^3 de solución de cloruro cálcico 0.02 N. Cuando se ensayen emulsiones catiónicas, usar 35 cm^3 de dioctilsulfosuccinato sódico al 0.8%, empleando en ello, aproximadamente, dos minutos. Mientras se está añadiendo la solución se agita constante y vigorosamente el contenido del vaso, deshaciendo los grumos contra las paredes y procurando que el reactivo y la emulsión se mezclen completamente. Continuar agitando y deshaciendo los grumos durante un período adicional de 2 minutos después de añadir la solución. Estas operaciones se realizan después de poner la muestra de emulsión y el reactivo a la temperatura normal de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ($77^\circ\text{F} \pm 1^\circ\text{F}$).

3.4 Se coloca cada uno de los tamices sobre un recipiente apropiado y la mezcla de emulsión y reactivo se pasa a través de cada tamiz. Se llenan los vasos que contienen las muestras con agua destilada. Se vuelven a romper todos los grumos, y el lavado de los vasos, de las varillas y de los tamices se continúa hasta que el agua de lavado pase incolora. Después de esta operación de lavado, los vasos, las varillas y los tamices empleados en cada ensayo se colocan en un horno y se secan a 163°C (325°F) hasta peso constante.

3.1.6.4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculos.- La diferencia entre el peso de cada conjunto de vaso, varilla, tamiz y residuo, y el de su tara correspondiente, es el peso del residuo en este ensayo.

Se calcula el promedio de los tres ensayos realizados.

El resultado se calcula en porcentaje de asfalto separado de la emulsión en el ensayo, respecto al porcentaje de asfalto de la emulsión obtenido en los ensayos de destilación o de residuo por evaporación.

$$\text{Demulsibilidad, \%} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = Peso promedio del residuo en el ensayo de estabilidad de cada muestra de emulsión, en gramos.

B = Porcentaje de asfalto de la emulsión obtenido en los ensayos de destilación o de residuo por evaporación.

4.2 Precisión.- Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con probabilidad del 95%

Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de demulsibilidad % en peso	Repetición % de la media
De 30 a 100	5

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Ensayo de demulsibilidad % en peso	Repetición % de la media
De 30 a 100	30

3.1.6.5. Correspondencia con otras normas

NLT - 141

ASTM D 244

3.1.7 Estabilidad de las emulsiones asfálticas

I.N.V. E - 770

3.1.7.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de mezcla con cemento de las emulsiones asfálticas de rotura lenta, que sirve como control del tipo de emulsión lenta que es útil para la fabricación de lechadas.

1.2 Por medio del ensayo se determina el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, bajo condiciones preestablecidas.

3.1.7.2. Aparatos

2.1 Tamices.- Un tamiz con abertura de 180 μm (No.80) y otro con abertura de 1.40 mm (No.14).

2.2 Cápsulas.- Una cápsula de hierro de fondo redondo o una taza de unos 500 cm^3 de capacidad.

2.3 Varilla para agitación.- Una varilla de acero con su extremo redondeado de unos 12 mm de diámetro.

2.4 Probeta graduada.- Una probeta graduada, de 100 cm^3 de capacidad.

2.5 Cemento.- Cemento Portland de alta resistencia inicial, que tenga una superficie específica mínima de 1.900 cm^2 por gramo. El cemento Portland, tipo III, cumple estas condiciones.

3.1.7.3. Procedimiento

3.1 Se diluye la emulsión que se va a ensayar con agua destilada hasta que contenga un 55% de asfalto, determinándolo, bien por destilación o bien por evaporación durante 3 horas, a 163°C (325°F).

3.2 Se tamiza el cemento a través del tamiz de 180 µm (No.80) y se pesan 50 ± 0.1 g de la fracción que pasa dicho tamiz, en la cápsula de hierro o taza.

3.3 Se adicionan 100 g de la emulsión diluida, al cemento y se agita la mezcla inmediatamente, durante un (1) minuto, con la varilla de acero con un movimiento circular, de manera que se den 60 vueltas por minuto. Después de terminar este primer período de mezcla, se añaden 150 cm³ de agua destilada y se continúa la agitación durante 3 minutos más.

Los ingredientes y el aparato se mantendrán, durante el período de mezcla, a una temperatura aproximada de 25°C (77°F).

3.4 Se pasa la mezcla a través del tamiz de 1.40 mm (No.14), previamente tarado, haciendo repetidos lavados para eliminar el material que quede en el recipiente de mezcla. Se continúa el lavado sobre el tamiz, con agua destilada, cayendo desde una altura de unos 150 mm (6"), hasta que salga clara. Se coloca el tamiz en un fondo tarado y se seca en un horno regulado a 163°C (325°F) hasta peso constante.

3.5 Se pesa en gramos el residuo retenido en el tamiz el cual se considera como emulsión rota.

3.1.7.4. Cálculos y resultados

4.1 Cálculos.- Los resultados se expresan en porcentaje de emulsión rota, respecto a la emulsión total, con aproximación del 0.1%

$$\% \text{ emulsión rota} = A - B$$

Siendo:

A = Peso del tamiz + fondo + residuo

B = Peso del tamiz + fondo.

4.2 Precisión.- Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados, con el 95% de probabilidad.

Ensayos duplicados realizados por el mismo operador se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Mezcla con cemento % en peso	Repetición % en peso
0 a 2	0.2

Los resultados obtenidos por dos laboratorios se considerarán aceptables, si no difieren en más de la siguiente cantidad:

Mezcla con cemento % en peso	Reproducción % en peso
---------------------------------	---------------------------

0 a 2	0.4
-------	-----

3.1.7.5. Observaciones

5.1 El cemento debe guardarse en recipientes con cierre hermético y mantenerlo protegido de la humedad.

5.2 Es imprescindible que el cemento cumpla con el valor mínimo indicado para su superficie específica.

3.1.7.6. Correspondencia con otras normas

NLT - 144

ASTM D 244

3.1.8 Carga de las partículas de las emulsiones asfálticas

I.N.V. E-767

3.1.8.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la identificación de las emulsiones asfálticas, aniónicas y catiónicas.

1.2 El ensayo está basado en la diferente carga eléctrica, negativa o positiva, que poseen las partículas bituminosas en las emulsiones aniónicas o catiónicas, y consiste en introducir en la emulsión una pareja de

electrodos unidos a una fuente de alimentación de corriente continua, observando, al cabo de un tiempo, en qué electrodo se ha depositado la película de ligante.

3.1.8.2 Aparatos y materiales

2.1 Fuente de corriente continua.- Dispositivo de alimentación eléctrica de corriente continua de 12 V, provisto de un miliamperímetro y una resistencia variable.

2.2 Electrodo.- Dos placas de acero inoxidable, de 25 mm de ancho y 100 mm de largo, aisladas entre sí y montadas en un dispositivo que las mantenga rígidamente paralelas, a una distancia de 13 mm.

2.3 Vasos de vidrio.- Vasos de vidrio de 150 o 250 cm³ de capacidad.

Nota 1: Para regular la profundidad de inmersión de los electrodos, éstos deben llevar una muesca o señal de enrase a 25 mm de su extremo.

3.1.8.3. Procedimiento

3.1 La muestra de emulsión se vierte en un vaso de vidrio en cantidad tal que permita sumergir 25 mm los electrodos dentro de ella.

3.2 Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25 mm.

3.3 Se conectan los electrodos a la fuente de alimentación y se ajusta la intensidad de la corriente, mediante la resistencia variable, hasta unos 8 mA, poniendo en marcha al mismo tiempo un reloj.

Nota 2: Los 8 mA es un valor mínimo de corriente, pudiendo establecerse niveles de mayor intensidad. Debe anotarse la intensidad de la corriente empleada.

3.4 Cuando la intensidad de la corriente baje a 2 mA o hayan transcurrido 30 minutos, lo primero que suceda, se desconecta la corriente, se desmontan los electrodos y se lavan suavemente debajo de un grifo de agua.

3.5 Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos; una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo, (electrodo negativo), mientras que el ánodo, (electrodo positivo), permanecerá limpio. Por el contrario, en una emulsión aniónica el depósito aparecerá en el ánodo, permaneciendo el cátodo limpio.

3.1.8.4. Resultados

4.1 El resultado expresará que la carga de la partícula es "positiva", si la película de ligante se deposita en el cátodo, y "negativa", si se deposita en el ánodo.

3.1.8.5. Correspondencia con otras normas

NLT - 194

ASTM D 244

AASHTO T 59

3.1.9 pH de las emulsiones asfálticas

I.N.V. E-768

3.1.9.1. Objeto

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del valor de pH en las emulsiones asfálticas directas, definiendo este valor como el logaritmo decimal de signo contrario de la concentración de hidrogeniones (iones hidrógeno).

1.2 El ensayo mide el pH existente en la fase acuosa de las emulsiones fabricadas con cemento asfáltico o asfalto líquido (con disolventes).

1.3 El método se basa en medidas de la diferencia de potencial, expresadas en unidades de pH, entre dos electrodos (referencia y medida).

3.1.9.2. Aparatos y materiales

2.1 pH-metro.- Se empleará un pH-metro con toda la banda de pH (0 a 14), equipado con dispositivo corrector de temperatura.

2.2 Electrodo.- Electrodo de referencia de calomelanos, con solución saturada de cloruro potásico.

Electrodo de medida de vidrio.

Electrodo combinado (referencia y medida en uno solo), en sustitución de los dos anteriores.

2.3 Soluciones de calibración

Solución tampón ácida de pH conocido (aproximadamente 4) entre 20 y 30°C (68 y 86°F).

Solución tampón básica de pH conocido (aproximadamente 9) entre 20 y 30°C (68 y 86°F).

Solución tampón neutra de pH conocido (aproximadamente 7) entre 20 y 30°C (68 y 86°F) (Nota 1).

Nota 1: Las tres soluciones tampón deben conservarse en frascos de polietileno.

2.4 Vasos.- Vasos de vidrio de 100 cm³.

3.1.9.3. Procedimiento

3.1 Calibración del pH-metro.- Se coloca el mando de temperatura en aquella a la cual se va a realizar el ensayo (temperatura del líquido). Se sumergen los electrodos (Nota 2) en la solución tampón apropiada (ácida

para las catiónicas y básica para las aniónicas), utilizando vasos de 100 cm³.

Se ajusta la lectura al pH de la solución tampón, con el mando corrector. Se lavan los electrodos con agua destilada abundante (Nota 3).

3.2 Se ponen unos 50 a 75 cm³ de la emulsión que se va a ensayar, en un vaso de vidrio de 100 cm³; se sumergen los electrodos, se espera a que se estabilice la lectura del aparato y se toma nota de ella.

3.3 Se lavan los electrodos con agua destilada y se realiza una nueva medida del pH de la solución tampón usada en el numeral 3.1 para calibrar el aparato.

3.4 Finalmente se procede a la limpieza total de los electrodos. Primero se enjuagan con acetona, limpiándolos seguidamente con un disolvente (tricloroetileno) hasta la eliminación total del ligante depositado; después de otro lavado con acetona se enjuaga con abundante agua destilada, finalizando con un secado total del electrodo.

3.5 Todas las medidas se deberán realizar entre 20 y 30°C (68 y 86°F). Indicando, en el resultado final, la temperatura a la cual se realizó el ensayo.

3.6 Cuando se desconozca la naturaleza de la emulsión problema (ácida o básica), se calibrará el aparato con la solución de pH neutro y se procederá con la medida de pH de la emulsión que se ensaya, siguiendo el proceso descrito, repitiéndolo posteriormente con la solución tampón apropiada, siguiendo los numerales 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.

Nota 2: En ningún caso deberán sumergirse los electrodos hasta un nivel superior al que tiene la solución saturada en el interior del electrodo de referencia, con el fin de evitar la posible penetración de líquidos extraños por el orificio capilar, que deberá estar siempre abierto durante las mediciones.

Nota 3: Siempre debe mantenerse el electrodo en posición vertical y el bulbo del electrodo en la parte inferior.

3.1.9.4. Resultados

4.1 El resultado del valor del pH medido, se expresará con aproximación al décimo.

4.2 Deberá emplearse el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de un resultado. La diferencia entre los valores de pH en la calibración inicial (numeral 3.1) y final (numeral 3.3) no deberá exceder a 0.2 unidades de pH.

Ensayos duplicados se consideran satisfactorios, si no difieren en más de 0.3 unidades de pH.

3.1.9.5. Correspondencia con otras normas

NLT - 195

3.1.10 Peso específico

I.N.V. E – 706

Se describe en el numeral 2.1.8.

3.1.11 Ensayos a residuos de la destilación

3.1.11.1 Penetración de los materiales asfálticos

I.N.V. E – 706

Se describe en el numeral 2.1.3.

3.1.11.2 Ductilidad de los materiales asfálticos

I.N.V. E – 702

Se describe en el numeral 2.1.4.

3.1.11.3 Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno

I.N.V. E - 713

Se describe en el numeral 2.1.5.

4. METODO PROPUESTO DE ILLINOIS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRIO EMULSION - AGREGADO (MARSHALL MODIFICADO)

4.1. OBJETO

1.1 Se describe el procedimiento que debe seguirse para proveer una cantidad de asfalto residual adecuada en la estabilización de un material que determine las condiciones de mezclado y compactación para la producción y aplicación de una mezcla densa tipo rodadura con una emulsión. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

4.2. RESUMEN DEL METODO

2.1 El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2½") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad Marshall modificado, densidad Bulk y flujo. Se evalúa la susceptibilidad de la mezcla a los cambios de humedad sometiendo una serie de muestras a un ensayo especial de inmersión durante 4 días.

2.2 El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, deberá determinarse previamente el peso específico aparente de los agregados, así como el peso específico del asfalto, y el análisis de Densidad - Vacíos.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo" que satisfaga de la mejor manera todos los criterios de diseño.

4.3. APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

- a) Dispositivo para moldear probetas: Consistente en una placa de base plana, con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres (3) moldes. Para facilidad de manejo, es conveniente que el molde esté provisto de agarraderas.
- b) Extractor de Probetas: Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm ($1/2$ ") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere de un elemento adecuado para transferir suavemente la probeta del molde al collar.
- c) Martillo de Compactación: Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm ($37/8$ ") de diámetro y un pisón de 4.54 kg (10 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 mm 18 " El martillo de compactación puede estar equipado con el protector de dedos.
- d) Pedestal de Compactación: Consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 200.3 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado x 25.4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.

- e) Soporte para molde: Consistente en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición durante el proceso de compactación.

Nota 1: En lugar del martillo de operación manual y asociado con los equipos hasta ahora descritos, podrá usarse un martillo mecánico, el cual haya sido calibrado para ofrecer resultados comparables con los del martillo manual.

- f) Mordaza y medidor de deformación. La mordaza consistirá en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") finamente acabado. El segmento inferior, que terminará en una base plana, irá provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior. El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable. El medidor de deformación consistirá en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.
- g) Prensa.- Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.
- h) Medidor de la estabilidad.- La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100N (10 kgf) hasta 20 kN (2039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

Nota 2: En lugar de medir la estabilidad con un anillo dinamométrico, se puede emplear cualquier otro dispositivo de medida de carga que cumpla los requisitos indicados anteriormente.

- i) Elementos de calefacción.- Para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra, se empleará un horno o placa de calefacción, provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3°C (5°F).
- j) Mezcladora.- Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice con una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales, este proceso se realizará sobre una placa de calefacción o estufa, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.
- k) Tanque para agua, de 150 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a 60° ± 1°C (140 ± 1.8°F) ó 37,8° ± 1°C (100° ± 1.8°F).El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.
- l) Tamices.- Conjunto de: 50 mm (2"), 37.5 mm (1½"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (¾") 12.5 mm (½"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8); 300 µm (No.50), 75 µm (No.200).
- m) Cámara de aire para las mezclas con asfalto líquido, controlada termostáticamente y la cual debe mantener la temperatura del aire a 25° ± 1°C. (77° ± 1.8°F).

- n) Termómetros blindados: De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F ± 0.4°F).
- o) Balanzas: Una de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.
- p) Guantes de soldador para manejar equipo caliente; guantes de caucho para sacar las muestras del baño de agua y crayolas para identificar las probetas.
- q) Bandejas metálicas, de fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas de 4 litros (1 galón) de capacidad, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipiente con vertederos, espátulas, papel de filtro, etc.

4. 4. PROCEDIMIENTO

4.1 Ensayos preliminares

En los ensayos preliminares para la fabricación de mezclas en vía se debe tener en cuenta las especificaciones particulares, de los agregados y la emulsión a utilizar como también la afinidad entre estos (esto se llama Formulación de la

emulsión, la cual la realiza normalmente la empresa proveedora de esta) además se debe tener masas unitarias, gradación, proctor y los demás ensayos de resistencia y durabilidad de los agregados.

NOTA IMPORTANTE : Al iniciar el ensayo debemos tener la concentración de la emulsión asfáltica y la humedad del agregado en ese momento para realizar los cálculos del agua a adicionar y agua total.

4.1.1 Número de Probetas.- Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos); de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo prepararán tres probetas para cada contenido y preferiblemente cinco.

4.1.2 Cantidad de materiales.- Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitará entonces por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados: el mínimo necesario para una serie de muestras de una gradación dada será entonces de 23 kilos (50 lb). y alrededor de 4 lt (1 galón) de emulsión asfáltica. Se requiere, además, una cantidad extra de material para análisis granulométricos y determinación de pesos específicos.

4.1.3 Preparación de los agregados.- Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105°C y 110°C (221°F y 230°F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. Se recomiendan las siguientes porciones:

25.0 a 19.0 mm (1" a 3/4");

19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8");

9.5 a 4.75 mm (3/8" a No.4);
4.75 a 2.36 mm (No.4 a No.8);
y pasa 2.36 mm (No.8).

4.2 selección del % de emulsión asfáltica

Esta selección del porcentaje de E.A. se realiza tentativamente mediante cualquier método (método Duriez, método instituto del asfalto, etc.).

4.3 Ensayo de cobertura

El ensayo de cobertura consiste en realizar 6 mezclas con el mismo % de asfalto residual encontrado con cualquier método y variando el agua de preenvuelta de los agregados, donde posteriormente realizamos una inspección visual de estas ~~mezclas y escogemos la que~~ tenga un cubrimiento total y excelente manejabilidad.

4.4 Selección humedad de compactación

Se realizan mezclas con la humedad total y con el porcentaje de asfalto residual tentativo, variamos la humedad de estas mezclas secándolas al aire libre. Las mezclas con los diferentes porcentajes de humedad se compactan dentro de moldes Marshall y les tomamos testigos de humedad para luego determinar su estabilidad, posteriormente son curadas en seco durante un día y ensayadas en estabilidad Marshall modificado, realizamos la curva de estabilidad VS humedad y determinamos su humedad para máxima estabilidad, la cual la tomamos como humedad de compactación.

4.4.1 Preparación de las mezclas.- En bandejas taradas separadas para cada muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción

de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de tal forma que ésta resulte con una altura de 63.5 ± 1.3 mm. Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto. A continuación se mezclan los materiales preferiblemente con mezcladora mecánica, o en su defecto, a mano con espátula. De todas formas, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea.

Nota.3: Para conseguir la altura adecuada de las probetas para el ensayo, es conveniente elaborar una probeta de prueba. Para ello, se tomará una cantidad de agregados de 1.2 kg, corrigiéndose luego para la altura debida, con la expresión:

En el sistema Internacional SI

$$\text{Peso correcto (kg) = } \frac{63.5 \times \text{Peso usado de agregados (kg)}}{\text{Altura obtenida de la probeta (mm)}}$$

En el sistema Inglés

$$\text{Peso correcto = } \frac{2.5 \times \text{Peso usado de agregados}}{\text{Altura obtenida de la probeta (")}}$$

4.5 Variación del contenido de asfalto residual

Usando el contenido de agua requerido en la mezcla y la humedad de compactación óptima se preparan mezclas variando el contenido de agua residual. Si el contenido de agua óptimo de compactación es menor que el mínimo contenido de agua de mezcla requerido antes de la compactación,

se requiere aireación. Las mezclas se compactan entonces dentro de moldes Marshall y se curan al aire durante tres días. Las muestras se ensayan para determinar su densidad bulk, estabilidad Marshall modificado y flujo, se evalúa la susceptibilidad de la muestra y los cambios de humedad sometiendo una serie de muestras a un ensayo especial de inmersión durante cuatro días.

4.6 Selección del contenido optimo de asfalto

Se elige el contenido optimo de asfalto como el porcentaje de emulsión a la cual la mezcla de pavimento satisface de la mejor manera todos los criterios de diseño de la siguiente tabla 1.

0 TABLA 1 CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS EMULSION-AGREGADO

PROPIEDAD EN ENSAYO	MINIMO	MAXIMO
Estabilidad Lb (N) a 72 ° F (22.2 ° C) Mezclas pavimentación	500 (2224)	–
Vacíos totales en % Mezcla compactada (mezclas granulares sin requisitos para arena)	2	8
Perdida estabilidad , por ciento Después de cuatro días inmersión a 72 ° F (22.2 ° C)	–	50
Humedad absorbida por ciento después de cuatro días inmersión a 72 ° F (22.2 ° C)	–	4
Cubrimiento agregado por ciento	50	–

5. CONCLUSIONES

- La documentación de ayudas educativas en el estudio del área de pavimentos es de gran importancia para tener una formación mas practica y así obtener posteriormente un mejor desempeño laboral.
- Tener material audiovisual de los ensayos de laboratorios requeridos por las normas INVIAS para asfaltos líquidos y emulsiones asfálticas permitirá a los estudiantes de ingeniería civil construir un conocimiento más amplio acerca del tema.
- Es de especial cuidado el manejo de disolventes industriales que sus vapores son de inhalación peligrosa por lo cual se debe usar el equipo adecuado para su manipulación.
- Se debe tener un cuidado especial en la manipulación y manejo de equipos de laboratorio en especial los de vidrio por su fragilidad.
- Para la toma de muestras se debe usar recipientes adecuados y libres de solventes o sustancias químicas que puedan alterar la muestra, distorsionando los resultados de los diferentes ensayo.
- El método de viscosidad Saybolt es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, como un medio para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.
- En la toma de muestras se deberá tomar las precauciones necesarias para asegurar que la muestra para ensayo sea representativa de la

muestra existente en el laboratorio la cual deberá ser homogénea y no estar contaminada.

- En el ensayo de sedimentación es imprescindible que en el lugar elegido para dejar las probetas estas no sufran golpes ni vibraciones.
- En el ensayo de destilación se debe tener cuidado con la formación de espuma ya que esta afecta los procesos de destilación. Dada la formación de espuma se debe bajar la temperatura hasta que cese la formación de esta.
- Para en ensayo de demulsibilidad previamente debe haberse determinado el porcentaje de residuo de la emulsión por medio de los ensayos de destilación o residuo de evaporación.
- Nunca debe hacerse intentos de ajustar la temperatura de la muestra a la del ensayo, introduciendo objetos calientes o fríos en la muestra ya esta forma de tratamiento térmico, puede afectar la muestra y la precisión del ensayo.
- Se debe asegurar que los disolventes empleados cumplan los requisitos indicado de pureza, los disolvente impuros constituyen la mayor fuente de error.
- El tricloroetileno es tóxico y deberá trabajarse en un lugar con buena ventilación. Además el tricloroetileno en presencia del calor y la humedad pueden formar ácidos extremadamente corrosivos.
- En el ensayo de estabilidad es imprescindible que el cemento cumpla con el valor mínimo indicado para su superficie específica, y debe ser

guardado en recipientes con cierre hermético y protegido de la humedad.

- En la lectura del pH en ningún caso deberán sumergirse los electrodos hasta un nivel superior al que tiene la solución saturada en el interior del electrodo de referencia y el electrodo debe mantenerse siempre en posición vertical.
- Para iniciar el ensayo Marshall modificado debemos tener la concentración asfáltica y la humedad del agregado en ese momento para realizar los cálculos del agua a adicionar y agua de rotura.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICAS. Normas Colombianas para la presentación de tesis de grado, Bogotá, ICONTEC 2000 .104 pag. NTC 1486.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos Concreto Asfáltico. Pasto. Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería, 2000. 426 pag.

REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras, 1996.

REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Instituto Nacional de Vías. Normas de ensayo de materiales para carreteras, 1998.