

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Sistema documental del Laboratorio de Pavimentos

Angie Elizabeth Moya Jaramillo

Ingeniería civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera civil

Quito, 14 de diciembre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de ciencias e ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Sistema documental del Laboratorio de Pavimentos

Angie Elizabeth Moya Jaramillo

Nombre del profesor, Título académico

Gustavo Boada, Ing. MSc

Quito, 14 de diciembre de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Angie Elizabeth Moya Jaramillo

Código: 137738

Cédula de identidad: 0504039405

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la creación de material didáctico para la ejecución de los laboratorios de diseño de pavimentos. Estos materiales basados en la metodología “visual thinking”. En primer lugar, se sintetizó la información de normativas vigentes con lo cual se crearon los manuales de los laboratorios más importantes, tomando en cuenta los materiales y equipos existentes en el laboratorio de la Universidad San Francisco de Quito y manteniendo la esencia de dichas normativas. Finalmente, se creó material audiovisual a través de flujogramas y videos de los laboratorios. El material audiovisual se presenta como un complemento a la comunicación clásica de enseñanza de los ensayos de laboratorio y estos nos muestran los materiales, equipos, procedimiento y cálculos a realizar en dicho ensayo de laboratorio. Los flujogramas contienen una secuencia lógica del proceso de ejecución del ensayo de laboratorio mediante un control tipo “check list”. El material didáctico servirá para mejorar la enseñanza de los ensayos de laboratorio de Diseño de Pavimentos de la USFQ y permitirá a futuro incorporar metodologías de enseñanza como “Blended Flexible Learning” (BFL), SHIFT-USFQ, entre otras.

Palabras clave: Diseño de Pavimentos, laboratorios, asfalto, emulsiones, Marshall, CBR, azul de metileno, penetración, reblandecimiento.

ABSTRACT

This project will create teaching materials for the execution of Pavement Design laboratories. The materials were created using the visual thinking methodology. First, the information regarding the current regulations was summarized in order to create the manuals for the most relevant laboratories. This was done by considering the materials and equipment available at Universidad San Francisco de Quito (USFQ), but at the same time keeping the essence of the mentioned regulations. Finally, audiovisual content was created through flow diagrams and videos of the laboratories' processes. This content is presented as an addendum to the classic teaching communication of laboratory essays. They show the materials, equipment, procedures, and calculations that should be made in each laboratory practices. The flow diagrams include a timeline of the execution process for the laboratory practice, which is controlled through a checklist. The didactic material will improve the teaching of the laboratory practices of the Pavement Design class at USFQ. Thus, allowing teaching methodologies such as Blended Flexible Learning (BFL), SHIFT-USFQ, and others to be implemented in the near future.

Key words: Pavement Design, laboratory, asphalt, emulsions, Marshall, CBR, methylene blue, penetration, softening.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	8
Desarrollo del Tema.....	9
Conclusiones	13
Referencias bibliográficas.....	15
Anexo A: Manual de Laboratorio para CBR	17
Anexo B: Manual de Laboratorio para azul de metileno	23
Anexo C: Manual de Laboratorio para penetración.....	26
Anexo D: Manual de Laboratorio para reblandecimiento	32
Anexo E: Manual de Laboratorio para residuo por evaporación	39
Anexo F: Manual de Laboratorio para estabilidad a las 24 horas.....	42
Anexo G: Manual de Laboratorio para gravedad máxima teórica.....	45
Anexo H: Manual de Laboratorio para preparación de muestras	52
Anexo I: Manual de Laboratorio para Marshall	56

INTRODUCCIÓN

Las vías son de gran importancia, vitales para el desarrollo económico y social del país, las cuales están involucradas en nuestro diario vivir. Para que un pueblo se desarrolle se necesitó de la comunicación y la comercialización entre civilizaciones, además de las actividades militares y religiosas, por lo cual vieron la necesidad de abrir senderos, brechas y caminos de diferentes tipos.

En la actualidad, existen vías de diferente orden y se adecuan al tipo de movilización, tipo de geografía, clima, entre otros factores. Las vías y autopistas han hecho que el tiempo que se invierte en cruzar de un lugar a otro se reduzca, esto se logra con un buen diseño geométrico y estructural de la vía con lo cual se garantiza seguridad y comodidad del usuario en todo el ciclo de vida de la carretera.

Para el adecuado diseño estructural de una carretera se realizan varios estudios y ensayos de los materiales los cuales están directamente relacionados con la durabilidad de la vía. Se debe conocer el procedimiento para realizar correctamente los ensayos y saber interpretar los resultados por lo cual se debe capacitar a los profesionales y estudiantes.

Con la creación del laboratorio de pavimentos de la Universidad San Francisco de Quito se pretende capacitar adecuadamente a los involucrados en el diseño estructural de pavimentos a través de una guía que contenga paso a paso cómo realizar los ensayos según las especificaciones y normativas.

La importancia de este proyecto de titulación se debe a que el laboratorio de Pavimentos aún no se posee un sistema documental. Con estos documentos se busca que los estudiantes conozcan los insumos, procedimiento y cálculos a realizar mediante una adecuada metodología, asegurando el correcto aprendizaje de los estudiantes en este campo.

Objetivo General:

Estructurar un sistema documental didáctico y demostrativo mediante la metodología “Visual Thinking” para el laboratorio de la clase Diseño de Pavimentos.

Objetivos Específicos:

1. Recopilar información sobre los ensayos de laboratorio que se debe realizar para diseñar y evaluar Pavimentos.
2. Aplicar conceptos, normas y reglamentos aprendidos en la asignatura e investigación en el área de diseño de pavimentos para crear un manual de laboratorio y material audiovisual.
3. Motivar el uso del material del laboratorio de Pavimentos para el uso en la planificación de clases mediante metodologías “Blended Flexible Learning” (BFL), SHIFT-USFQ, entre otras.

DESARROLLO DEL TEMA

El eje principal en la industria de la construcción es la Ingeniería civil, con ella se construye todo tipo de infraestructura, para lo cual se debe tener conocimientos sólidos que se respaldan en ensayos de materiales utilizados en la construcción. Este trabajo tiene como objetivo, enseñar a los estudiantes de una manera clara y didáctica, cómo realizar un ensayo de materiales de pavimentos e interpretar los resultados.

En la asignatura de Diseño de Pavimentos se analiza temas relacionados con el tránsito vehicular, las normas que rigen la construcción vial, la subrasante y su incidencia en el diseño

de pavimentos, los agregados, ligantes asfálticos y emulsiones, metodologías de diseño para pavimentos flexibles, rígidos y articulados, mantenimiento vial y técnicas constructivas.

En cuanto a la caracterización de materiales que intervienen en la construcción de Pavimentos se realizan los siguientes ensayos:

Temas relacionados con la subrasante:

- Inspección manual visual del suelo de subrasante
- CBR de laboratorio

Temas relacionados con los agregados

- Azul de metileno
- Equivalente de Arena
- Granulometría

Temas relacionados con ligantes asfálticos

- Gravedad específica del asfalto
- Penetración
- Reblandecimiento
- Ductilidad
- Fragilidad
- Viscosidad

Temas relacionados con ligantes emulsificados

- Gravedad específica de una emulsión
- Residuo por evaporación
- Estabilidad a las 24 horas

Mezclas gruesas asfálticas en caliente y frío

- Gravedad Bulk de agregados y especímenes
- Gravedad máxima teórica
- Diseño de mezclas por Marshall
- Extracción de asfalto residual por centrifugación

Cabe recalcar que algunos de los ensayos mencionados se realizan en el laboratorio de hormigones y de mecánica de Suelos por lo cual se tomara la documentación de esos laboratorios. En este proyecto se realizará la documentación de los laboratorios restantes más importantes, los cuales se describen a continuación:

CBR de laboratorio: También conocido como California Bearing Ratio, se utilizó la norma ASTM D1883-99 y se complementó con AASHTO T193-99 e INV E148-07. El objetivo de realizar este ensayo es determinar la resistencia de los materiales de subrasante y base para el uso en pavimentos, ver Anexo A.

Azul de Metileno: Se utilizó la norma INV E-235-07 y AASHTO TP57-01 (2004). El objetivo es determinar la cantidad de material potencialmente dañino (arcillas y material orgánico) en la fracción fina del agregado con el uso del compuesto “azul de metileno” del cual viene el nombre del ensayo, ver Anexo B.

Penetración: Se utilizó las normas INV E 706-07 Y ASTM D 5-97. Este ensayo consiste en determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos y semisólidos, ver Anexo C.

Reblandecimiento: También conocido como ensayo de anillo y bola, se utilizó las normas INV E-712 -07, ASTM D36-95 y AASHTO T 53-96. Este ensayo busca determinar el punto de ablandamiento de productos bituminosos en un intervalo de temperatura, ver Anexo D.

Residuo por evaporación: Se utiliza la norma ASTM D 6934 e INV E- 771-07, una emulsión asfáltica está compuesta principalmente de un semisólido a base asfáltica líquida, agua y un agente emulsionante, se realiza este ensayo para determinar de manera cuantitativa el porcentaje de asfalto en emulsiones asfálticas evaporando en agua y pesando el residuo, ver Anexo F.

Estabilidad a las 24 horas: Se utiliza la norma ASTM D244, en la que se busca clasificar una emulsión dependiendo de la cantidad de asfalto que desprende la emulsión, ver Anexo G.

Gravedad máxima teórica: Se utiliza la norma INV E-735-07, con la que se busca determinar la gravedad máxima teórica para pavimentos a 25 °C. La gravedad específica teórica es una propiedad fundamental que depende especialmente de la composición cantidad de agregados en la mezcla asfáltica, ver Anexo H.

Preparación de las muestras: Se utilizo la norma INV E748, con la cual a partir de la selección de un tipo de granulometría se prepara las probetas de agregado y asfalto para poder medir en otro ensayo su resistencia con el aparato Marshall, ver Anexo I.

Marshall: Su nombre viene del aparato empleado para realizar este laboratorio, su función es determinar la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas con el uso del aparato Marshall, ver Anexo J.

Los temas mencionados son abordados en su totalidad en la clase diseño de Pavimentos, donde se analiza y se comprende la importancia de cada uno con su aplicación.

El presente proyecto incorporó la metodología de aprendizaje “Visual thinking”, o pensamiento visual, cuyo objetivo es llegar al lector de una manera más didáctica a través de imágenes o material audio visual. Esta técnica consiste en poner los pensamientos o ideas en imágenes para captar la atención y organizar las ideas de una manera más eficaz. Está comprobado que esta

metodología es una estrategia efectiva para la educación superior, ya que potencia el aprendizaje autónomo y facilita el aprendizaje de competencias profesionales (Sanz, 2017).

Los manuales de laboratorio están diseñados para que los estudiantes los entiendan fácilmente, por esta razón se elaboró una metodología de aprendizaje “Visual Thinking” donde se utiliza un textos reducidos y material audiovisual a través de flujogramas y videos.

En total cada ensayo esta conformados por:

- Nombre de la Norma utilizada
- Objetivos del ensayo
- Equipo y materiales
- Procedimiento
- Material audiovisual
- Cálculos
- Precisión y tolerancia
- Reporte
- Flujograma

Cada documentación de laboratorio tiene su singularidad y su contenido depende de la normativa y su alcance.

CONCLUSIONES

Al estructurar el sistema documental del laboratorio de Pavimentos se tendrá una repercusión positiva en la comprensión de los estudiantes, ya que se todo el material lo realizó a través de la metodología “Visual thinking”.

Para la realización de este proyecto se aplicaron los conceptos, normas y reglamentos estudiados en la clase de Diseño de Pavimentos. Además, se requirió de una investigación más minuciosa para sintetizar las fuentes bibliográficas de los laboratorios que dificultan el entendimiento de los estudiantes. Este proyecto recopiló la información más esencial de las normas y especificaciones enlistadas anteriormente, de tal modo que el proceso de instrucción de los manuales hacia los estudiantes será mucho más efectivo y óptimo. Así mismo, los documentos contienen la información necesaria para realizar los ensayos de laboratorio sin afectar la calidad de estos.

La MOP-001-F 2002, es la norma que actualmente rige las especificaciones técnicas de los materiales referentes a la construcción vial en Ecuador. Esta norma describe, en la sección 101-1, que se podrán usar las Normas ASTM, AASTHO, INEN según sea necesario. En conclusión, se puede afirmar que el material realizado servirá para la práctica académica y laboral.

Además, este proyecto servirá como material de planificación de clases para la asignatura de Laboratorio de Pavimentos, cuyas metodologías podrán ser “blended flexible learning” (BFL), SHIFT-USFQ, entre otras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Testing Materials (1997). *Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials*. (D 5 – 97). Estados Unidos: ASTM International.
- American Society of Testing Materials. (1999). *Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory – Compacted Soils*. (D 1883 – 99). Estados Unidos: ASTM International.
- American Society Of Testing Materials. (2000). *Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring – and – Ball Apparatus)*. (D 36 – 95). Estados Unidos: ASTM International.
- American Society of Testing Materials. (2000). *Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts*. (D244 – 00). Estados Unidos: ASTM International.
- Condori, Y. (2017). *Ensayo CBR-UAC*. Recuperado el 6 de mayo de 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=fe3jeG4hEr8>
- Fowler, B. (2002). La taxonomía de Bloom y el pensamiento crítico. *Gabriel Piedrahita U. Foundation Published on September, 1-4*.
- González-Sanz, M., Feliu-Torruella, M., & Cardona-Gómez, G. (2017). *Las Visual Thinking Strategies (VTS) desde la perspectiva del educador patrimonial. DAFO del método en su aplicación práctica: Visual Thinking Strategies from the perspectives of museum educators': a SWOT analysis of the method's practical implementation*. Ministerio de Educación
- Instituto Nacional de Vías. (s.f). *Gravedad Específica Máxima Teórica (gmm) y Densidad de Mezclas Asfálticas para Pavimentos*. (INV E – 135 – 07). Recuperado de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/especificaciones%20y%20normas%20inv-07,%20agosto%2008/normas/norma%20inv%20e-735-07.pdf>
- Instituto Nacional de Vías. (s.f). *PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS*. (INV E – 706 – 07). Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-706-07.pdf
- Instituto Nacional de Vías. (s.f). *PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)*. (I.N.V. E – 712 -07). Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-712-07.pdf

Instituto Nacional de Vías. (s.f). *RESIDUO POR EVAPORACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS A 163°C (325°F)*. (INV E – 771 – 07). Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-771-07.pdf

Instituto Nacional de Vías. (s.f). *RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL*. (INV E – 748 – 07). Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-748-07.pdf

Instituto Nacional de Vías. (s.f). *VALORES DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS Y EN LLENATES MINERALES*. (INV E – 235 – 07). Recuperado de ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-235-07.pdf

Qm, H. (2017). *Informe CBR*. Recuperado de https://docuri.com/download/informe-cbr_59c1e975f581710b286d404f_pdf

Sánchez, F. (2012). *¿Qué es el CBR?*. Recuperado de <http://blogramcodes.blogspot.com/2012/08/que-es-el-cbr.html>

Schweizer, S. (2011). *MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS PARA DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

ANEXO A: MANUAL DE LABORATORIO PARA CBR

Practica 1: Determinación de CBR (California Bearing Ratio) de Laboratorio.

1. Referencias

Principal: ASTM D1883

Complementaria: AASHTO T193
INV E 148

2. Objetivos

Determinar la resistencia de los materiales de subrasante, subbase y base para su uso en pavimentos, carreteras y aeródromos.

3. Equipos

a. Máquina de carga:

Debe constar de una cabeza o base movable que viaje a una tasa constante de 1.27 mm/min para generar la penetración del pistón en la muestra. La máquina de carga debe constar de un indicador que muestre hasta 44 N (9.9lb) o menos.

b. Molde:

Molde rígido de metal con un diámetro interior de 152.4 ± 0.66 mm y una elevación de 177.8 ± 0.46 mm. Debe constar de un collar metálico de extensión de al menos 50.8 mm de altura. Así mismo, una placa de metal en la base debe estar presente, con agujeros uniformemente distribuidos de al menos 1.59mm. Estos agujeros deben encontrarse en la circunferencia de la placa interior al molde.

c. Disco espaciador:

Disco circular metálico con un diámetro exterior mínimo de 150.8mm con una altura de 61.37 ± 0.127 mm. El disco debe poder ser deslizado fácilmente en el molde.

d. Pisón (compactador):

Un pisón como el especificado en otros ensayos como D698 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Normal 600 KN*m/m³ – 12400 ft*lb/ft³) y D1557 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Modificado de 2700 Kn*m/m – 56000 ft*lb/ft³).

e. Medidor de expansión:

Vástago ajustable de metal y placa metálica perforada, similar a la placa base del molde. Debe ser al menos 149.23mm a 260.81mm de diámetro y debe constar de por lo menos 42 agujeros de 1.59mm de diámetro. Mismo que deben estar separados uniformemente sobre la placa.

f. Pistón de penetración:

Pistón metálico de 49.63 ± 0.13 mm de diámetro y no menor a 101.6mm de longitud.

g. Medidores:

Dos medidores que lean 0.025 mm con un rango mínimo de 0.200

h. Aparatos varios:

Tazón de mezclado, regla, balanzas, tanque de remojo, horno, pape filtro de alta resistencia a la humedad y filtrado rápido, platos y los tamices de: 2 pulgadas (5.1cm), $\frac{3}{4}$ pulgadas (1.9cm), No4.

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

a. Elección de las muestras:

La muestra debe ser preparada de acuerdo a los procedimientos dados en los métodos D698 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Normal $600 \text{ Kn}^*\text{m}/\text{m}^3 - 12400 \text{ ft}^*\text{lbf}/\text{ft}^3$) y D1557 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Modificado de $2700 \text{ Kn}^*\text{m}/\text{m}^3 - 56000 \text{ ft}^*\text{lbf}/\text{ft}^3$) para compactación en un molde de 152.4 mm. Excepto cuando: Todo el material de la muestra cruza el tamiz $\frac{3}{4}$ de pulgada (1.2cm). En ese caso se debe usar la muestra completa que se utilizó. Si hay material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ (1.9cm) se debe retirar dicho material y reemplazarlo con la misma cantidad de material que si pase el tamiz $\frac{3}{4}$ y se retenga en el tamiz No 4.

b. Especímenes de prueba:

- *Relación de soporte solo al contenido de humedad óptimo:*

Usando el material preparado en el paso 1, se debe realizar una compactación controlada de varios especímenes hasta establecer definitivamente el contenido de agua óptimo para el suelo estudiado. Para ello se debe seguir los métodos D698 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Normal $600 \text{ Kn}^*\text{m}/\text{m}^3 - 12400 \text{ ft}^*\text{lbf}/\text{ft}^3$) y D1557 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Modificado de $2700 \text{ Kn}^*\text{m}/\text{m}^3 - 56000 \text{ ft}^*\text{lbf}/\text{ft}^3$).

- Para los casos donde el CBR es deseado al 100% de peso unitario máximo seco y al contenido óptimo de agua, se debe recurrir al ensayo D2216 (Método de Prueba Estándar en Laboratorio Para la Determinación del Contenido de Humedad por Masa del Suelo y Roca)
- Cuando el CBR es deseado al contenido de agua óptimo y un porcentaje en particular de peso unitario máximo seco, se debe compactar 3 especímenes de suelo, preparados dentro del ± 0.5 % del contenido óptimo de agua y usando la compactación especificada, pero con un número diferente de golpes por capa para cada espécimen. El número de

golpes por capa debe ser tan variado como sea necesario para preparar especímenes con un peso unitario seco sobre y debajo del valor deseado.

▪ *Relación de soporte a un rango del contenido de humedad:*

Prepare los especímenes de manera similar a 2.1, excepto que cada espécimen usado para generar la curva de compactación debe ser penetrado. En los casos donde el peso unitario especificado está cerca del 100% del peso unitario máximo seco, será necesario incluir un esfuerzo de compactación mayor a 56 golpes por capa.

- Si la muestra será sumergida, tome una muestra representativa del material para determinar la humedad al inicio de la compactación y otra muestra del material restante después de la compactación. Use el método D 2216 (Método de Prueba Estándar en Laboratorio Para la Determinación del Contenido de Humedad por Masa del Suelo y Roca) para determinar el contenido de humedad. Si la muestra no será sumergida y el contenido de humedad promedio es deseado, tome una muestra para establecer el contenido de humedad acorde a los métodos D698 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Normal 600 Kn*m/m³ – 12400 ft*lb/ft³) y D1557 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Modificado de 2700 Kn*m/m³ (56000 ft*lb/ft³)).
- Con el uso del collar de extensión, sujete el molde a la placa base con el orificio para el mango de extracción hacia abajo. Inserte el disco espaciador sobre la placa base y coloque un papel de filtro en la parte superior del disco espaciador. Compacte la mezcla de tierra y agua en el molde de acuerdo como se realizó en el paso anterior.
- Remueva el collar de extensión y enraste cuidadosamente el suelo compactado con la parte superior de una regla. Parche con pequeños pedazos de material cualquier agujero que se haya desarrollado en la superficie por la remoción del material grueso. Retire el disco base perforada y el disco espaciador. Pese y registre la masa del molde más el suelo compactado. Coloque un filtro grueso de papel en la base perforada, invierta el molde y el suelo compactado en contacto con el papel filtro.
- Coloque los pesos de sobrecarga en la placa perforada cuidadosamente baje este conjunto en el molde de suelo compactado. Aplique una sobrecarga igual al peso del material base y pavimento dentro de 2.27kg, pero en ningún caso el peso total usado debe ser menor a 4.54kg. Si ningún pavimento es especificado, use 4.54kg. Sumerja el molde y los pesos en agua permitiendo el acceso libre de agua a la parte superior e inferior del espécimen. Tome lecturas iniciales para el hinchamiento y deje a la muestra en remojo por 96h. Mantenga un nivel de agua constante durante este periodo.

- Remueva el agua libre y permita que el espécimen se drene por 15min. Tenga cuidado de no alterar la superficie del espécimen durante la remoción del agua. Retire los pesos, el disco perforado, el papel filtro y determine y registre la masa de la muestra.

c. Procedimiento para el ensayo de relación de soporte.

- Coloque una sobrecarga de pesos sobre el espécimen, suficiente para producir una intensidad de cargado igual al peso del material base. Si ningún pavimento es especificado use 4.54kg. Si el espécimen fue sumergido, la sobrecarga debe ser igual a la que se usó durante el periodo sumergido. Para prevenir el levantamiento del suelo en los agujeros de los pesos de sobrecarga, coloque el anillo de 2.27kg sobre la superficie del suelo para asentar en él el pistón de penetración.
- Asiente el pistón de penetración con la menor carga posible, pero en ningún caso mayor de 44N. Inicie los medidores de esfuerzo y penetración en cero. Esta carga inicial es requerida para asegurar satisfactoriamente el asentamiento del pistón y debe ser considerada como una carga de cero cuando se determine la relación de carga y penetración. Si es posible, ancle el medidor de tensión al medidor de carga, pero en ningún caso ate el medidor de tensión a las barras de soporte de la máquina de pruebas.
- Aplique la carga sobre el pistón de penetración a una tasa de penetración aproximada de 1.27 mm/min. Registre las cargas a una penetración de:

Tabla 1 Penetración a la que la carga debe ser registrada.

PENETRACIÓN	
mm	in
0.64	0.03
1.27	0.05
1.91	0.08
2.54	0.10
3.18	0.13
3.81	0.15
4.45	0.18
5.08	0.20
7.62	0.30
10.16	0.40
12.70	0.50

Anote la carga máxima y la penetración si esto ocurre a una penetración menor a 12.70mm. Mida la profundidad del pistón de penetración en el suelo colocando una regla en la abolladura y midiendo la diferencia desde la parte superior del suelo a la parte inferior de la abolladura. Si la profundidad no

cuadra con la profundidad del medidor de penetración, determine la causa y haga el ensayo en una nueva muestra.

Remueva el suelo del molde y determine el contenido de humedad de la parte superior en una capa de 25.4mm. Tome este valor de acuerdo a los métodos D698 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Normal 600 Kn*m/m³ – 12400 ft*lb/ft³) y D1557 (Método de Prueba Estándar para Características de Compactación del Suelo en Laboratorio a un Esfuerzo Modificado de 2700 Kn*m/m³ – 56000 ft*lb/ft³). Cada espécimen de muestra para el contenido de humedad no debe pesar menos de 100g para suelos finos y no menor a 500g para suelos granulares.

5. Cálculos

- **Curva de carga – penetración.**

Calcule la es esfuerzo de penetración en MPa y grafique la curva de esfuerzo vs penetración.

- **Relación de soporte.**

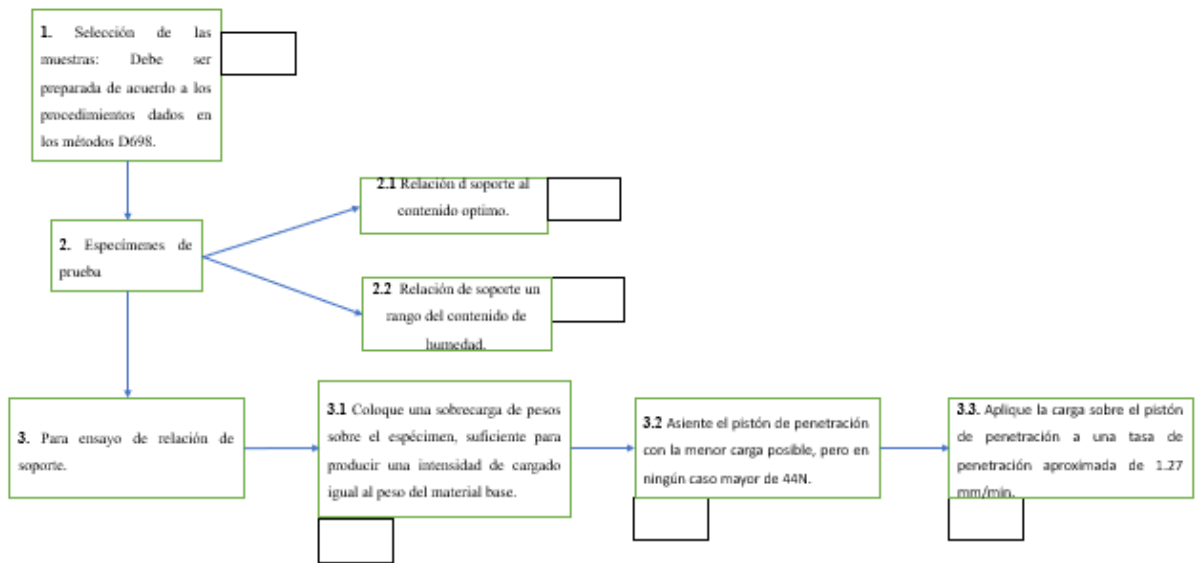
Usando valores corregidos de esfuerzo, tomados de la curva de esfuerzo penetración en los puntos donde la penetración sea 2.54mm y 5.08mm, calcule las relaciones de soporte para cada uno dividiendo los esfuerzos corregidos para el esfuerzo estándar de 6.9MPa y 10.6MPa (1000 psi y 1500 psi) respectivamente. Multiplicar por 100, dependiendo de la máquina de carga con que se trabaje. También calcule las relaciones de soporte para los esfuerzos máximos.

El reporte de la relación de soporte para el suelo es normalmente el que se tomó a 2.54mm de penetración. Cuando la relación a 5.08mm es mayor, repita el ensayo. Si el ensayo de prueba entrega resultados similares, use la relación de soporte a 5.08mm.

6. Reporte

- Método usado para la preparación y compactación de los especímenes: D698 o D1557.
- Condiciones de la muestra: sumergida o no sumergida.
- Densidad seca de la muestra antes de sumergirla.
- Densidad seca de la muestra después de sumergirla.
- Contenido de humedad de la muestra: Antes de la compactación, después de la compactación, en la parte superior a una capa de 25.4mm, promedio después de sumergida.
- Hinchamiento (como porcentaje de la altura inicial).
- Relación de soporte.
- Sobrecarga.
- Cualquier preparación especial de la muestra o procedimiento.
- Identificación de la muestra: ubicación, número para identificar, etc.
- Cualquier ensayo realizado pertinente a la identificación de la muestra.

7. Flujograma



ANEXO B: MANUAL DE LABORATORIO PARA AZUL DE METILENO

Practica 2: Azul de Metileno

1. Referencias

Principal: INV E-235-07

Complementaria: AASHTO TP 57-01 (2004)

2. Objetivos

- Determinar la cantidad de material potencialmente dañino (arcillas y material orgánico) en la fracción fina de agregado con el uso del compuesto “Azul de Metileno”.

3. Equipos

a. Bureta:

De por lo menos 50ml de capacidad con graduaciones cada 0.1ml.

b. Agitador mecánico:

Agitador que conste con varilla revolvedora.

c. Balanza:

De al menos 200g de capacidad y una sensibilidad de 0.001g

d. Varilla de vidrio

De aproximadamente 250mm (10”) de largo y 8mm (0.3”) de diámetro.

e. Cronómetro

f. Platón y tamiz de 75 μm (No200)

g. Matraz volumétrico

Con capacidad de 1000ml

h. Papel filtro Whatman No2

i. Vasos de precipitación

Tres vasos de precipitado de 500ml tipo Griffin

j. Azul de metileno

De grado reactivo, fechado y almacenado por un tiempo inferior a cuatro meses. El compuesto debió estar almacenado en un frasco de color café y envuelto con papel aluminio alejado de la luz. La temperatura de almacenamiento debe ser ambiente y en un gabinete oscuro.

k. Agua destilada

A temperatura ambiente.

l. Horno

Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($60\text{-}77^{\circ}\text{F}$)

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

- a) Tomar una muestra de suelo y secarlo hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b) De esta muestra seca, obtener 10.0 g ($\pm 0.05\text{g}$) de material pasante al tamiz No 200 ($75 \mu\text{m}$) y colocarla en un vaso volumétrico tipo Griffin de 500ml.
- c) Adicionar 30 ml de agua destilada y batir con el agitador hasta tener una lechada constante.
- d) Agregar con la bureta a la lechada de suelo 0.5 ml de solución de Azul de Metileno y agitar durante un minuto.
- e) Sacar con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y dejarla caer sobre el papel filtro.
- f) Se observa la gota en el papel filtro. Si no se ha formado alrededor de la gota un anillo, se continúa el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de Metileno, agitando durante un minuto para cada incremento y realizando de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.
- g) Después de alcanzar este punto se continúa agitando durante 5 minutos y se repite la prueba en el papel filtro, como método de confirmación. Si se continúa presentando el aro azul se da por terminada la titulación y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con la titulación.

5. Video explicativo

El video será cargado en la página oficial de YouTube de Laboratorio de Materiales de la USFQ una vez que se apruebe.

6. Cálculos

- **Valor de azul de metileno en mg de azul por gramo de material seco que pasa el tamiz No 200 (VA).**

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

C: Concentración de la solución de Azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución

V: MI de solución de Azul de metileno requerida en la titulación

W: Gramos de material seco utilizado en la prueba.

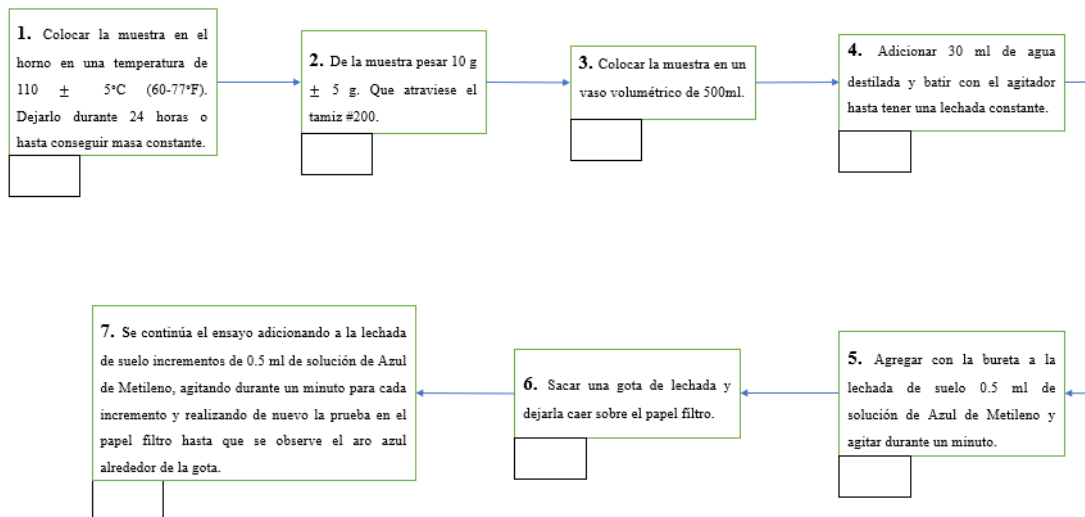
Al realizar el ensayo como consta en la norma INV E-235-07 y en este informe, el cálculo se simplifica a:

$$VA = 0.5V$$

7. Reporte

- Reportar el valor de **VA** con una aproximación del 0.1mg/g.

8. Flujograma



ANEXO C: MANUAL DE LABORATORIO PARA PENETRACIÓN

Practica 3: Ensayo de penetración.

1. Referencias

Principal: INV E 706-07

Complementaria: ASTM D 5-97

2. Objetivos

- Determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos.

3. Equipos

a. Penetrómetro.

Mecanismo que permita el movimiento vertical (sin rozamiento apreciable) de un vástago al cual se pueda fijar firmemente una aguja de penetración en su parte inferior. Además, sobre el mecanismo debe haber la posibilidad de colocar diferentes cargas suplementarias. Debe indicar la profundidad de penetración con una aproximación de 0.1mm. La masa del Vástago debe ser de $47.5 \pm 0.05\text{g}$ y la masa total del conjunto móvil (vástago + aguja) deberá ser de $50.1 \pm 0.05\text{g}$

b. Aguja de penetración.

La aguja será de acero inoxidable endurecido y templado (ASTM grado 440), con una dureza Rockwell HRC54 a HRC60, con 50mm (2") de longitud y entre 1.0 y 1.02mm (0.039"-0.040") de diámetro. Uno de sus extremos debe formar un cono de ángulo entre $8^{\circ}40'$ u $9^{\circ}40'$ en toda su longitud.

La textura de la punta cónica de la aguja deberá tener una rugosidad media superficial comprendida entre 0.2 y $0.3 \mu\text{m}$ (8 a $12 \mu''$) medida según la norma American National Standard B-46.1

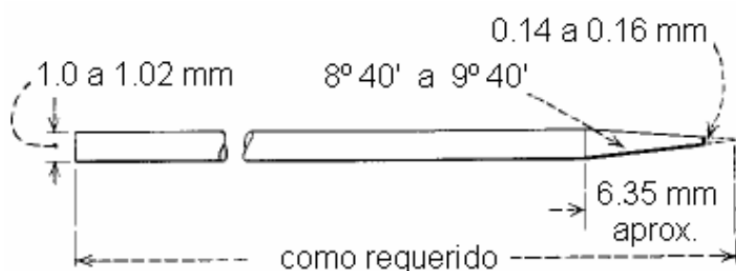


Ilustración 1 Agujas para ensayo de penetración

c. Recipiente o molde para la muestra.

Los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano. Las dimensiones interiores deben ser:

Tabla 2 Dimensiones interiores del recipiente para la muestra.

	Diámetro mm	Profundidad mm
	(“)	(“)

Penetración hasta 200	55 (2.17)	35 (1.38)
Penetración entre 200 y 350	55 (2.17)	70 (2.75)

d. Baño de agua.

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 de 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, se pueden utilizar solución salina como líquido del baño.

Se recomienda el uso de agua destilada para el baño.

e. Baño auxiliar.

El ensayo de penetración se puede realizar 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. Además, debe impedir cualquier oscilación de estos 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.

f. Control de precisión de dispositivo medidor de tiempo.

La precisión de los instrumentos empleados para medir la duración de los tiempos de carga se deberá comprobar inmediatamente antes de cada ensayo.

g. Penetrómetros manuales.

Cuando se empleen penetrómetros manuales, el tiempo del ensayo se deberá medir mediante cualquier medidor de tiempo graduado en 0.1 segundos o menos, y que tenga una exactitud de ± 0.1 segundos en un intervalo de 60 segundos.

h. Penetrómetros automáticos.

En estos aparatos, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado con una exactitud de ± 0.1 segundos.

i. Termómetros.

Se deberá contar con termómetros de mercurio con varilla de vidrio con una subdivisión y escala máxima de error de 0.1°C o cualquier dispositivo de medición de temperatura con igual precisión, exactitud y sensibilidad. Deben cumplir con las siguientes características principales.

Temperatura del ensayo $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)	Referencia ASTM	Escala $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)	Graduación $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)	Longitud total mm	Error máximo $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)
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)	64C	25 a 55 (77 a 131)	0.1 (0.2)	379	0.1 (0.2)

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

a) Preparación de la muestra:

- Con una espátula caliente se separa una muestra de 400 a 500g del material.
- Colocar la muestra en el recipiente y calentarla cuidadosamente agitándola para generar un calentamiento homogéneo y evitar sobrecalentamiento. Este proceso se debe realizar hasta que el material llegue a una fluidez suficiente que permita su vertido en los moldes para las probetas. Las temperaturas de calentamiento no deben exceder a las del punto de ablandamiento (Norma INV E – 712) y el tiempo total no excederá 30 minutos. Adicionalmente, debe evitarse la formación de burbujas de aire.
- Se calienta el molde para la probeta a una temperatura semejante a la de la muestra. Se vierte la muestra en la probeta hasta una altura que, medida a la temperatura de ensayo, supere al menos en 10mm a la penetración supuesta. Se debe preparar un total de dos moldes por cada muestra de material de iguales características.
- Una vez llenados los moldes, se los debe cubrir con un vaso de vidrio invertido para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire. El conjunto (molde con los vasos) se debe dejar enfriar al ambiente a una temperatura de 20° a 30°C (68°F a 86°F). Si se emplean moldes pequeños, se debe dejar enfriar por un período de 1 a 1.5 horas. Si se utilizan moldes de mayor tamaño, el período de enfriamiento será entre 1.5 y 2 horas.
- Sumergir los recipientes en el baño de agua a la temperatura especificada y mantenerlos así durante el mismo tiempo de enfriamiento.

b) Condiciones del ensayo:

Las condiciones normalizadas del ensayo son:

Tabla 3 Condiciones estándar del ensayo.

temperatura	25°C (77°F)
carga	100g
tiempo de duración	5 segundos

Sin embargo, se admite emplear otras condiciones del ensayo, como, por ejemplo:

Tabla 4 Otras condiciones admisibles para el ensayo

Temperatura		Carga	Tiempo de duración
°C	°F	g	s

0	35	200	60
4	39.2	200	60
25	77	100	5
25	77	50	5
45	113	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 se podrán emplear.

c) Ejecución del ensayo:

- Se comprueba que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio, seco y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía.
- Se limpia la aguja de penetración con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio. Se fija la aguja firmemente en su soporte.
- Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso suplementario de 50g sobre el vástago para obtener la masa móvil total de $100 \pm 0.1g$.

Ensayo de penetración directamente en el baño de agua.

- Colocar el penetrómetro sobre la plataforma del baño y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra. La muestra debe quedar completamente sumergida.
- Una vez transcurridos los tiempos de inmersión prescritos en la preparación de la muestra, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra (sin que la penetre). 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 registra la distancia que haya penetrado la aguja en la muestra (expresada en décimas de milímetro).

Si el recipiente con la muestra se mueve durante la penetración, se anula el resultado. 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. Deberán estar separados, como mínimo, 10mm (3/8 ") entre sí de las paredes del recipiente.

Después de cada penetración, se desmonta, se saca y se limpia cuidadosamente la aguja con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean más 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.

5. Video explicativo

El video será cargado en la página oficial de YouTube de Laboratorio de Materiales de la USFQ una vez que se apruebe.

6. Cálculos y resultados:

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

Tabla 5 Valores máximos de diferencia entre penetraciones

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	entre 250 y 500
Diferencia máxima entre valores extremos	2	4	12	20

- 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.

7. Precisión y tolerancia:

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 (a una temperatura 25°C o 77°F).

Tabla 6 Diferencias máximas admisibles para no considerar dudosos los ensayos.

Material asfáltico ensayo a 25°C	Diferencia
Asfalto con penetración menor de 50	1 unidad
Asfalto con penetración igual o mayor de 50	4% de valor medio

Reproductibilidad:

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 o 77°F)

Material asfáltico ensayo a 25°C	Diferencia
Asfalto con penetración menor de 50	4 unidades

Asfalto con penetración igual o mayor de 50	11% del valor medio
---	---------------------

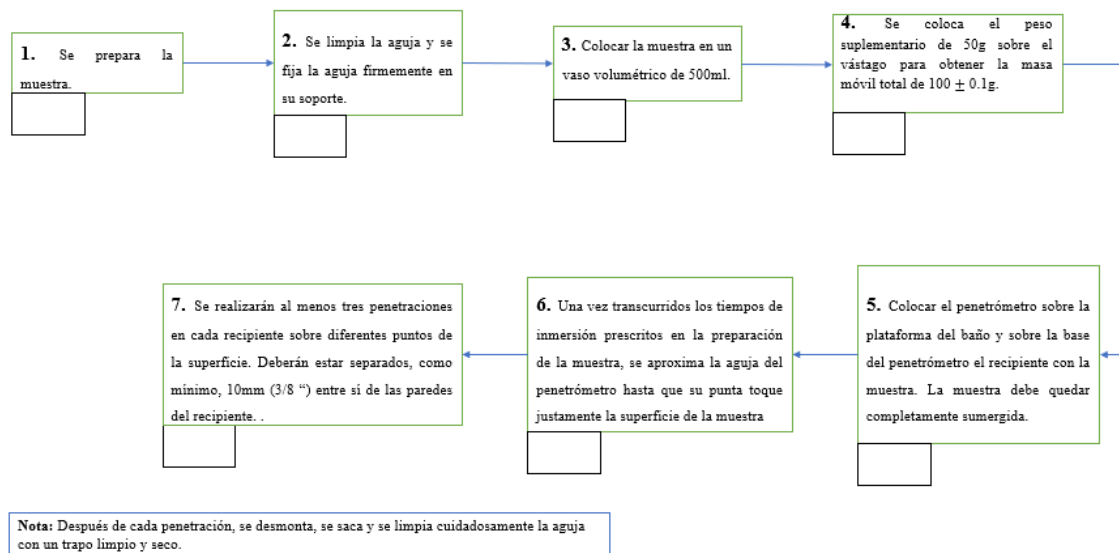
Tolerancias:

Este método no tiene tolerancias debido a que los valores determinados son definidos, únicamente, en términos del método de ensayo.

8. Reporte

- Reportar el valor de **VA** con una aproximación del 0.1mg/g.

9. Flujograma



ANEXO D: MANUAL DE LABORATORIO PARA REBLANDECIMIENTO

Practica 3: PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)

1. Referencias

Principal: INV E – 712 – 07

Complementaria: ASTM D 36-95, AASHTO T 53-96

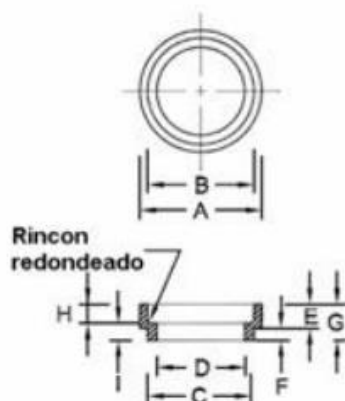
2. Objetivos

- Determinar el punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30° a 157°C (56° a 315°F). Para ello se utiliza el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80°C), glicerina USP (encima de 80° a 157°C), o glicol etileno (30 a 110°C).

3. Equipos

j. Anillos.

Anillos de bronce de bordes cuadrados.



(a) Anillo soportador

A	23.0 mm ± 0.3 mm	(0.91" ± 0.01")
B	19.8 mm ± 0.3 mm	(0.78" ± 0.01")
C	18.8 mm ± 0.3 mm	(0.74" ± 0.01")
D	15.9 mm ± 0.3 mm	(0.63" ± 0.01")
E	4.4 mm ± 0.3 mm	(0.17" ± 0.01")
F	2.0 mm ± 0.3 mm	(0.08" ± 0.01")
G	6.4 mm ± 0.4 mm	(0.25" ± 0.02")
H	3.6 mm ± 0.3 mm	(0.14" ± 0.01")
I	2.8 mm ± 0.3 mm	(0.11" ± 0.01")

Ilustración 2 Esquema del anillo de bronce

k. Platos de base.

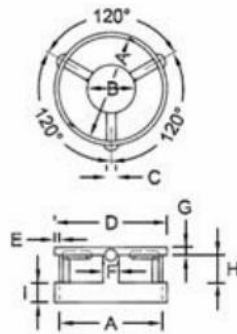
Hechos de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado (50 x 75 mm (2 x 3")) para mantener dos o más anillos. Los platos serán planos.

l. Bolas.

Esferas de acero de 9.5 mm de diámetro (3/8") y de 3.5 ± 0.05 g cada una.

m. Guías de contacto de las bolas.

Guías de bronce.



(c) Guía para centrar la esfera

A	23.1 mm (Ver Nota 3)	(0.91" (Ver Nota 3))
B	9.7 mm (Ver Nota 4)	(0.38" (Ver Nota 4))
C	$1.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$	$(0.06" \pm 0.02")$
D	$24.6 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$	$(0.97" \pm 0.01")$
E	$0.8 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$	$(0.03" \pm 0.02")$
F	$3.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$	$(0.12" \pm 0.02")$
G	$1.5 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$	$(0.06" \pm 0.01")$
H	$4.8 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$	$(0.19" \pm 0.01")$
I	$4.3 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$	$(0.17" \pm 0.01")$

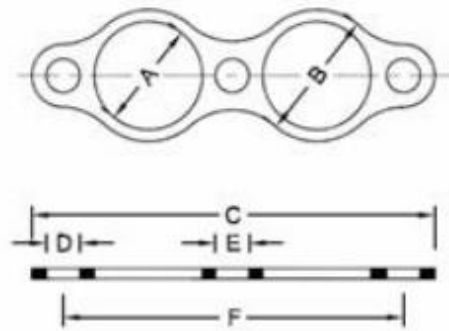
Ilustración 3 Esquema de las guías de contacto de las bolas

n. Baño.

Recipiente de vidrio que se pueda calentar. Debe constar con un diámetro interno no menor de 85mm, una altura entre la base y el borde de 120 mm como mínimo y con capacidad de 800 ml.

o. Soporte de anillos.

Un soporte de bronce diseñado para sostener los dos anillos en posición horizontal.

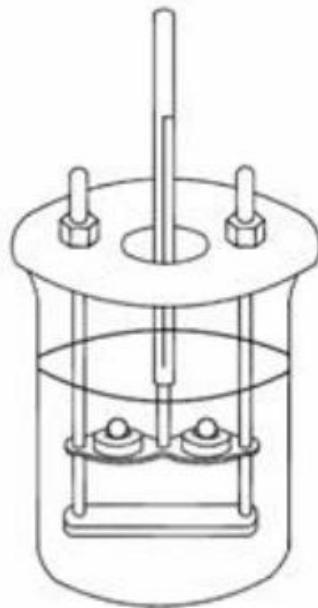


(b) Sujetador del anillo

A	19.0 mm (See Note 1)	(0.75" (See Note 1))
B	23.9 mm \pm 0.5 mm	(0.94" \pm 0.02")
C	76.2 mm \pm 0.5 mm	(3.00" \pm 0.02")
D	5.6 mm \pm 0.5 mm	(0.22" \pm 0.02")
E	5.6 mm \pm 0.5 mm	(0.22" \pm 0.02")
F	66.5 mm \pm 0.5 mm	(2.62" \pm 0.02")

*Ilustración 4 Soporte de los anillos***p. Montaje completo.**

La base de los anillos debe estar colocada 25 mm (1") por encima de la superficie superior del plato de base. La superficie inferior del plato deberá estar 16 \pm 3 mm (5/8 \pm 1/8") por encima del fondo del baño.

*Ilustración 5 Montaje del conjunto total para el ensayo***q. Termómetros.**

Serán de dos tipos, con las características definidas en la especificación ASTM E1:

Tabla 7 Tipos de termómetros aceptables en el ensayo

Termómetro	Intervalo de temperaturas
15C o 15F	-2° a 80°C (30° 180°F)
16C o 16F	30° a 200°C (85° a 392°F)

El termómetro se colocará en el montaje como se indica en la ilustración 4. El extremo del termómetro debe estar al mismo nivel que el fondo de los anillos y máximo a un radio de 13mm (puede estar más cerca) alejado de ellos. Es importante que el termómetro no toque los anillos ni el soporte.

r. **Líquido para el baño.**

- Para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen, se deberá usar agua destilada recién hervida.
- Glicerina USP. Tener presente que su punto de ignición es 160°C (320°F).
- Glicol etileno, con punto de ebullición entre 195° y 197° C (383° y 387° F). Su punto de ignición es 115° C (239° F). Cuando se usa este líquido en el baño, el ensayo deberá efectuarse en un laboratorio ventilado y con campana extractora de vapores, con capacidad para asegurar la remoción de los gases tóxicos. Tener presente que es una sustancia tóxica junto con los gases que emana al evaporarse. Su contacto prolongado con la piel es dañino.

s. **Agentes aislantes.**

Consisten en aceites o grasas con siliconas que se usan para evitar la adherencia del producto bituminoso sobre el plato base cuando se hacen los discos. Se coloca en una ligera capa sobre la superficie que se quiere proteger. También se pueden usar mezclas de glicerina con talco, dextrina o arcilla china. Cuando se usen siliconas, se debe evitar la contaminación de otros elementos del equipo de ensayo. En estos casos, se deben emplear guantes desechables de caucho.

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

a) **Preparación de la muestra:**

- El ensayo debe ser realizado dentro de 6 horas. El equipo, materiales, etc. deben estar preparados para dicho período.
- Se calienta la muestra de material bituminoso en forma cuidadosa, agitándolo con una espátula para generar un calentamiento homogéneo y evitar sobrecalentamientos. Adicional a ello, se debe evitar la formación de burbujas. El calentamiento no debe tomar más de 2 horas, y no debe exceder los 110°C (200°F) por encima del punto de ablandamiento esperado. Si el ensayo se debe repetir se debe usar una muestra fresca.
- Se calientan los dos anillos a una temperatura aproximada a la del producto asfáltico. Se debe proporcionar un agente aislante sobre el plato base y colocar los anillos sobre él.
- Se vierte, con un ligero exceso, el producto bituminoso dentro de los anillos y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Para materiales que estén blandos a la temperatura ambiente, se enfrían los especímenes, al menos durante 30 minutos a una temperatura inferior (10°C (18°F) por debajo del punto de ablandamiento esperado).

Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.

- Cuando los especímenes estén fríos, con un cuchillo o espátula precalentada, se enrasa el exceso de material bituminoso de la parte superior de los anillos. La superficie del disco debe coincidir con el nivel superior del anillo.

b) Ejecución del ensayo:

- Se escoge, dependiendo del punto de ablandamiento esperado, el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:

Tabla 8 Criterios para escoger el líquido y la temperatura para el baño y el termómetro

Temperatura de ablandamiento esperada		Líquido para el baño	Termómetro	Temperatura al comenzar el baño	
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$			$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
30 - 80	86 - 176	Agua destilada recién hervida	15C o 15F	5 ± 1	41 ± 2
>80	>176	Glicerina USP	16C o 16F	30 ± 1	86 ± 2
30 - 110	86 - 230	Glicol Etileno	16C o 16F	5 ± 1	41 ± 2

- Se hace el montaje de los aparatos en un laboratorio ventilado, colocando los anillos con los especímenes, las guías para las bolas y los termómetros en posición. Se llena el conjunto (ilustración 4) con el líquido apropiado hasta una altura de $105 \pm 3\text{ mm}$ ($4\frac{1}{8}'' \pm 1/8''$). Si se usa glicol etileno, se debe asegurar que el ventilador de la campana extractora esté funcionando antes de depositar el líquido. Usando unas tenazas apropiadas, se colocan las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.
- Se coloca todo el conjunto del baño, en agua con hielo o se calienta muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Se debe cuidar de no contaminar el líquido del baño.
- Usando otra vez las tenazas, se coloca cada una de las bolas en la guía para su centrado.
- Se calienta el baño en forma pausada para asegurar que la tasa de elevación de la temperatura sea constante a $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ($9^{\circ}\text{F}/\text{minuto}$). Se protege el baño de corrientes de aire usando pantallas, si es necesario. No se debe promediar la tasa de elevación de la temperatura durante el período del ensayo.
- Después de transcurridos los 3 primeros minutos, se debe constatar que la variación de temperatura en 1 minuto no sea mayor de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{F}$). En el caso que la variación sea mayor, se debe repetir el ensayo. Para el ensayo usando glicerina, el control de temperatura se puede establecer a partir de los 32°C , luego se continúa el procedimiento controlando la aplicación de temperatura.
- Para cada anillo y bola, se anota la temperatura a la que el producto bituminoso que rodea la bola toca el fondo del plato. Si la diferencia entre las dos

temperaturas excede de 1° C (2° F), se repite el ensayo.

5. Video explicativo

El video será cargado en la página oficial de YouTube de Laboratorio de Materiales de la USFQ una vez que se apruebe.

6. Cálculos y resultados:

- Para un espécimen de un producto bituminoso, el punto de ablandamiento determinado en un baño con agua será inferior que el determinado con glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia es importante solamente para puntos de ablandamiento ligeramente por encima de los 80°C (176°F).
- El cambio de agua por glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80° C crea una discontinuidad. Los más bajos puntos de ablandamiento que es posible obtener con baños de glicerina, son del orden de 84.5° C (184° F). En estos casos, la corrección será de -4.2° C (-7.6° F). Si se necesita resolver una discrepancia, se repetirá el ensayo.

Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina es de 80.0° C (176° F), o más bajo, se repite el ensayo utilizando baño de agua.

- Para ensayos hechos en agua (ligeramente por encima de 80°C (176°F)) convertirlos en un determinado por glicerina, se usará un factor de corrección +4.2°C (+7.6°F). En el caso que haya discrepancias se repetirá el ensayo. En el caso que el promedio de las dos temperaturas determinadas en agua sea $\geq 85^{\circ}\text{C}$ (185.0°F), se repite el ensayo en glicerina.
- Los resultados obtenidos que usarán glicol etileno variarán de los obtenidos usando agua y glicerina, en cantidades calculadas con las siguientes fórmulas:

$$PAg = 1.026583 \times PAge - 1.334968^{\circ}\text{C}$$

$$PAa = 0.974118 \times PAge - 1.444590^{\circ}\text{C}$$

Donde:

PAg = punto de ablandamiento en glicerina.

PAa = punto de ablandamiento en agua.

PAge = punto de ablandamiento en glicol etileno.

7. Precisión y tolerancia:

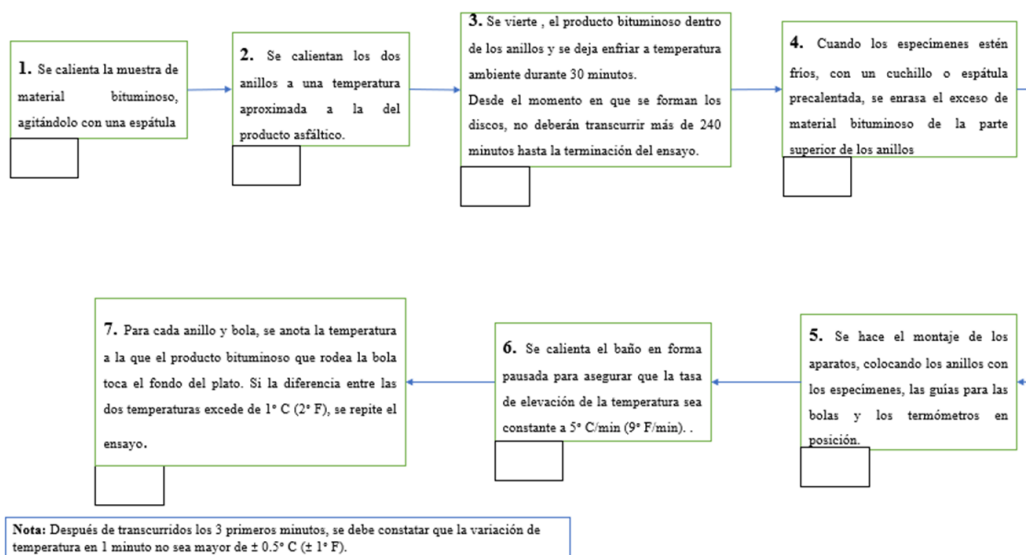
- Cuando se utiliza para el ensayo agua destilada o glicerina USP, los criterios de aceptabilidad del ensayo y sus resultados serán:
 - Los resultados de dos ensayos efectuados correctamente por el mismo operador sobre la misma muestra de asfalto no deberían tener una diferencia en más de 1.2°C (2.0°F).

- Si dos laboratorios distintos realizaron el ensayo sobre la misma muestra de asfalto, los resultados no deberían variar en más de 2.0°C (3.5°F).
- En el caso que se utilizara glicol etileno, los criterios de aceptabilidad serán:
 - Los resultados de dos ensayos realizados por el mismo operador no diferirán en más de 2.0°C (3.5°F)
 - Si dos laboratorios distintos realizaron el ensayo sobre la misma muestra de asfalto, los resultados no deberían variar en más de 3°C (5.5°F).
- El procedimiento descrito en esta norma no tiene tolerancias.

8. Reporte

- Cuando se utilicen termómetro 15C (o 15F), se deben reportar las temperaturas con aproximación de 0.2°C (0.5°F).
Cuando se utilicen los termómetros 16C (o 16F), se debe reportar las temperaturas con aproximación de 0.5°C (1.0°F).
- Se informa la clase de líquido que fue utilizado para el baño durante el ensayo.

9. Flujograma



ANEXO E: MANUAL DE LABORATORIO PARA RESIDUO POR EVAPORACIÓN

Practica: Residuo por Evaporación

1. Referencias

Principal: ASTM D 6934. Standard Test Method for Residue by Evaporation of Emulsified Asphalt.

Complementaria: INV E -771-07. Residuo por evaporación de las emulsiones asfálticas a 163°C.

2. Objetivos

- Determinar de manera cuantitativa el porcentaje de asfalto en emulsiones asfálticas, evaporando el agua y pesando el residuo.

3. Equipos

a. Vasos de precipitación:

Con capacidad de al menos 1000mL, pueden ser de vidrio o acero.

b. Varillas de vidrio:

Deben tener los extremos pulidos en llama de aproximadamente 6mm de diámetro y 180mm de longitud.

c. Balanza:

De al menos 500g de capacidad y una sensibilidad de 0.1g

d. Horno:

Con capacidad de mantener temperaturas de $163 \pm 3^\circ\text{C}$.

e. Tamiz:

Tamiz de 300 μm de abertura y 76.2 mm de diámetro conforme a la especificación E11.

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

A. Procedimiento 1.

Utilice el procedimiento 1 cuando solo se requiera el porcentaje de residuo.

- a) Determine el peso de cada uno de los 3 vasos de precipitación conteniendo las varillas de vidrio en cada uno a 0.1g de precisión.
- b) Mezcle a fondo la emulsión asfáltica. Pese $50 \pm 0.1\text{g}$ de: emulsión + varilla de vidrio + vaso de precipitación. Este procedimiento debe realizarse para cada uno de los tres vasos.

- c) Conteniendo las varillas y la emulsión, coloque los vasos dentro del horno que debe haber sido ajustado a 163 ± 3.0 °C. Deje reposar el conjunto (vaso + varilla + emulsión) durante 2 horas.
- d) Al finalizar este período, retire los vasos del horno y revuelva a fondo el residuo.
- e) Vuelva a colocar el conjunto dentro del horno y déjelo reposar por 1 hora más.
- f) Finalmente, retire el conjunto del horno y permítalo enfriarse a la temperatura de la habitación. Pese nuevamente cada vaso con las varillas y el residuo dentro.

B. Procedimiento 2.

Utilice el procedimiento 2 cuando sea requerido ensayar el residuo de la emulsión asfáltica.

- a) Realice el procedimiento 1 utilizando, en este caso, 4 vasos de precipitación.
- b) Una vez pesado por segunda vez los contenedores con las varillas y el residuo, vuelva a colocar el conjunto dentro del horno hasta que el residuo asfáltico sea lo suficientemente fluido para pasar a través del tamiz de 300 μm (este proceso suele tomar entre 15 y 30 min).
- c) Pase el residuo a través del tamiz y colóquelo en contenedores y moldes para ensayos de residuo.

5. Video explicativo

El video será cargado en la página oficial de YouTube de Laboratorio de Materiales de la USFQ una vez que se apruebe.

6. Cálculos

- **Calcule el porcentaje de residuo en cada vaso como sigue:**

$$\text{residuo}(\%) = 2(A - B)$$

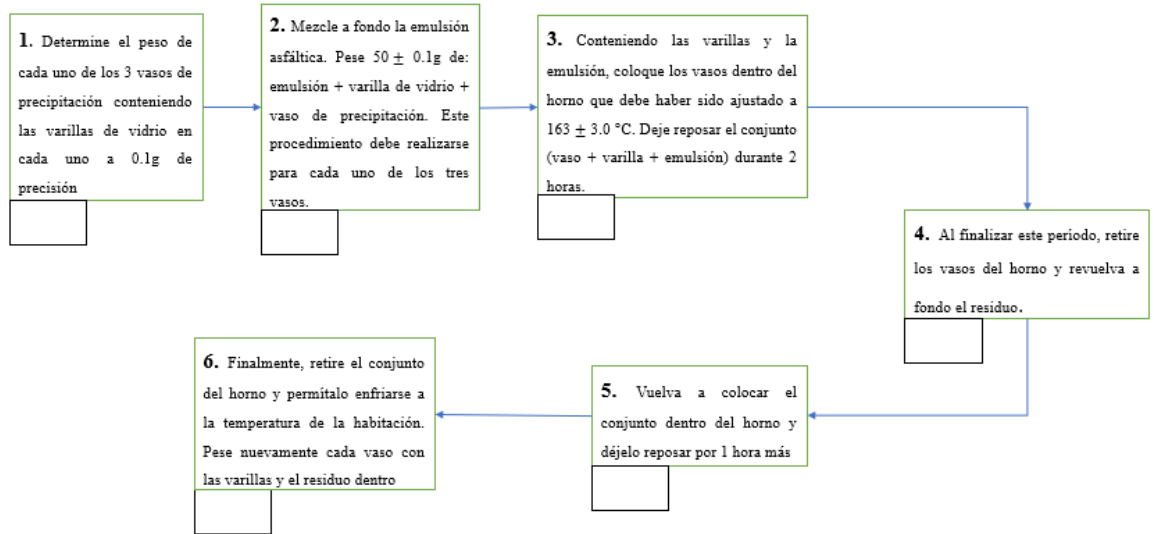
A: Peso del vaso + varilla + residuo.

B: Peso del vaso + varilla medidos inicialmente.

7. Reporte

- Reporte el porcentaje de residuo por evaporación como el porcentaje de todos los vasos ensayados.

8. Flujograma



ANEXO F: MANUAL DE LABORATORIO PARA ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS

Practica 6: Ensayo de Estabilidad.

1. Referencias

Principal: ASTM D244

Complementaria: ASTM D 5-97

2. Objetivos

- Clasificar una emulsión como RS o MS midiendo la cantidad de asfalto que se desprende de la emulsión. Para lograrlo, en emulsiones aniónicas se debe utilizar una solución de cloruro de calcio. Por otro lado, para emulsiones catiónicas es debido usar soluciones de dioctyl sodium sulfosuccinate.

3. Equipos

a. Tela de alambre.

Tres telas de alambre cuadradas. Deben tener 1.40mm de espesor y aproximadamente 125mm por cada lado. Con cable en el diámetro, aberturas y sin marcos.

b. Vasos de precipitación.

Tres vasos de precipitación metálicos con capacidad de 600ml cada uno.

c. Varillas.

Tres varillas metálicas con extremos redondeados con diámetro aproximado de 7.9mm.

d. Bureta.

Bureta de vidrio de 50ml. Debe estar graduada en intervalos de 0.1-mL.

e. Solución de cloruro de calcio (1.11g/L).

Se debe disolver 1.11 g de cloruro de calcio (CaCl_2) en 1 litro de agua evitando la formación de burbujas. Esta solución debe ser estandarizada a $0.02\text{N} \pm 0.001$ solución normal.

f. Solución de cloruro de calcio (5.55g/L)

Se debe disolver 5.55g de CaCl_2 en 1 litro de agua evitando burbujas. Esta solución debe ser estandarizada a $0.1\text{N} \pm 0.001$ solución normal.

g. Dioctyl sodium sulfosuccinate solution (0.8%).

Disolver 8.00g de dioctyl sodium sulfosuccinate en 992g de agua.

h. Balanza.

Una balanza con la capacidad de 500g con un rango de $\pm 0.1\text{g}$

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

- a) Por destilación, determine el porcentaje de residuo como se describe en la sección 14 de la norma ASTM D244 – 00.
- b) Determine el peso de cada uno de los 3 montajes: Vaso de precipitación, varilla y tela de alambre.
- c) Pese $100 \pm 0.1\text{g}$ de emulsión asfáltica en cada uno de los tres vasos de precipitación de cada montaje.
- d) Lleve la muestra y el reactivo adecuado a una temperatura de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$. El conjunto debe permanecer esta temperatura por un período de 2 minutos.
- e) Para emulsiones aniónicas:
 - o Desde la bureta, añada a cada vaso 35mL de CaCl_2 (1.11g/L) para emulsiones de fraguado rápido. Para emulsiones de tipo mezcla, añadir 50mL de CaCl_2 (5.55g/L).
- f) Para emulsiones catiónicas:
 - Desde la bureta, añada a cada vaso 35mL de la solución de dioctyl sodium sulfosuccinate (0.8%).
- g) Mientras se encuentre añadiendo las soluciones a la muestra, mezcle continua y vigorosamente. Asegúrese que no quede ningún grumo en las paredes del vaso. Una vez termine de añadir el reactivo, continúe mezclando y removiendo los grumos por un período de 2 minutos.
- h) Sobre la tela de alambre cernir la muestra de cualquier grumo que no se haya roto.
- i) Enjuague el vaso de precipitación y la varilla de metal con agua destilada.
- j) Siga removiendo y rompiendo todos los grumos posibles mientras lava los vasos de precipitación. Realice este procedimiento hasta que el agua se drene limpia por la tela de alambre.
- k) Coloque la tela de alambre con el asfalto en el vaso de precipitación con la varilla de acero.
- l) Ubique el ensamblaje en el horno a 163°C y séquelo hasta masa constante.
- m) Finalmente, pese nuevamente el conjunto.

5. Cálculos y resultados:

- Reste el peso del conjunto vaso + varilla + tela de alambre del peso obtenido después de secado. Realice esto para obtener el residuo por demulsibilidad.

$$\text{Pérdida de estabilidad (\%)} = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100\%$$

Donde.

A = Peso promedio de residuo por demulsibilidad de las tres muestras.

B = Peso de residuo por destilación en 100g de emulsión asfáltica.

6. Precisión y tolerancia:

Este criterio debe utilizarse para juzgar la aceptabilidad de los resultados en emulsiones RS, excepto para el caso de emulsiones catiónicas.

Repetibilidad:

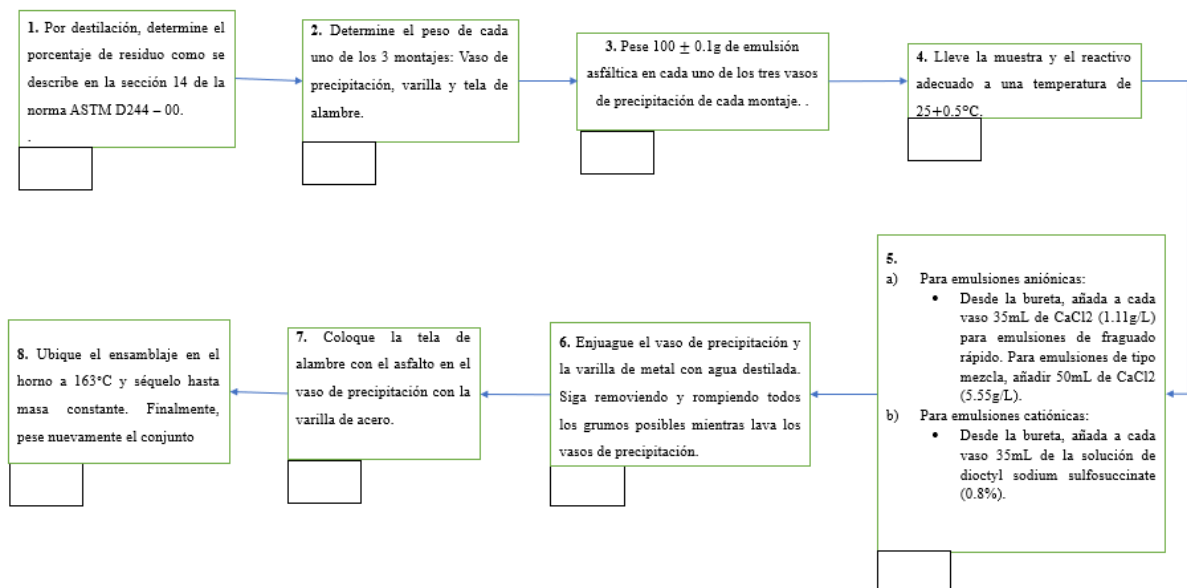
Resultados obtenidos por el mismo operador no deben diferir en más del 30 al 100% del peso o el 5% del promedio.

Los resultados realizados en dos laboratorios diferentes no deben variar en más del 30 al 100% del peso o 30% del promedio.

7. Reporte:

- Reportar el valor de *Perdida de estabilidad* en %.

8. Flujograma



ANEXO G: MANUAL DE LABORATORIO PARA GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA.

Practica: Gravedad máxima teórica

1. Referencias

Principal: INV E – 735. Gravedad específica máxima teórica (Gmm) y Densidad de mezclas asfálticas para pavimentos.

2. Objetivos

- Determinar la gravedad específica máxima teórica para pavimentos a 25°C, sin haber realizado previa compactación.

3. Equipos

a. Recipiente de Vacío:

El recipiente de vacío debe ser capaz de soportar las presiones aplicadas en este ensayo (4Kpa y 8Kpa).

La abertura del recipiente debe ser tal que permita instalar la bomba de vacío. Así mismo, debe estar cubierta por una malla tipo tamiz de 75 μ m (No200) para minimizar la pérdida de material fino.

Los recipientes de vacío deben tener una capacidad entre 200 y 10000ml. Sin embargo, su tamaño depende del tamaño mínimo de muestras que se necesite según el muestreo (tabla 1). Es importante no ensayar una muestra pequeña en un recipiente grande.

Tabla 9 Muestra mínima necesaria para el ensayo según el tamaño nominal de agregado.

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra (mm)	Muestra mínima (g)
50	6000
37.5	4000
25.0	2500
19.0	2000
12.5	1500
9.5	1000
4.75	500

b. Tazas de vacío:

Deben tener un diámetro aproximado de 180 a 260mm y una altura de al menos 1601mm. La taza puede ser metálica o de plástico, pero debe constar de una tapa transparente con empaque de caucho y una conexión para la aplicación del vacío.

c. Frasco volumétrico para vacío

Este frasco debe ser utilizado para pesar en el aire únicamente. Debe tener una pared gruesa y un tapón de caucho con conexión para la aplicación del vacío. Debe tener una capacidad de aproximadamente 4000ml.

d. Picnómetro para pesar en el aire únicamente.

Puede ser de plástico, vidrio o metal.

e. Balanza

La balanza debe tener una sensibilidad tal que permita calcular la gravedad específica de las muestras ensayadas con al menos 4 cifras significativas o 3 decimales.

Si se realiza el ensayo utilizando las tazas de vacío, en la balanza debe constar un mecanismo que permita pesar las muestras estando suspendidas en el aire por debajo del centro de gravedad de la balanza.

f. Bomba de vacío o aspirador de agua

La bomba de vacío debe tener la capacidad de evacuar el aire del recipiente de vacío hasta lograr una presión residual máxima de 4.0KPa (el mejor escenario es que se llegue a 0KPa).

Se deben instalar entre el frasco de vacío y la fuente de vacío uno o más frascos de 100ml de capacidad (o equivalentes) para reducir la cantidad de vapor de agua que pueda entrar en la bomba, como lo indica la ilustración 1.



Ilustración 6 Arreglo del aparato de ensayo. Fuente: I.N.V. E – 735

g. Manómetro de presión residual o celda de presión absoluta calibrada

Un manómetro de presión conectado directamente al frasco de vacío. Debe ser capaz de medir una presión residual de 4KPa o menos. Se debe realizar una

conexión adecuada al frasco de vacío a través de una manguera en T a la línea de vacío o generando una abertura separada.

h. Baño de agua

Si se usa las tazas de vacío, el baño de agua debe mantener una temperatura entre 20 y 30°C.

Cuando en el ensayo se requiera pesar dentro del agua, se necesita un baño de agua para la inmersión del recipiente suspendido que contiene la muestra desairada.

i. Válvula de escape.

Debe ser aplicada en la línea de vacío, justo en la entrada al frasco de vacío. Esta válvula facilita el ajuste de la presión de vacío que está siendo aplicado al vaso.

j. Guantes protectores

Utilizados para tomar el equipo de vidrio que está bajo vacío.

k. Dispositivo para agitación mecánica

El dispositivo debe aplicar una agitación suave y consistente a la muestra ensayada. El recipiente debe estar apoyado y fijo sobre el dispositivo para que se mueva junto con él y no tenga movimientos aparte.

l. Horno

Debe ser capaz de mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. El horno es necesario para ensayar muestras diferentes a las mezclas preparadas en laboratorio.

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

- a) Se separan a mano las partículas de la mezcla que se va a ensayar. Se debe evitar fracturar las partículas minerales, pues las partículas de la porción fina del agregado no deben ser mayores de 6.4mm (1/4").

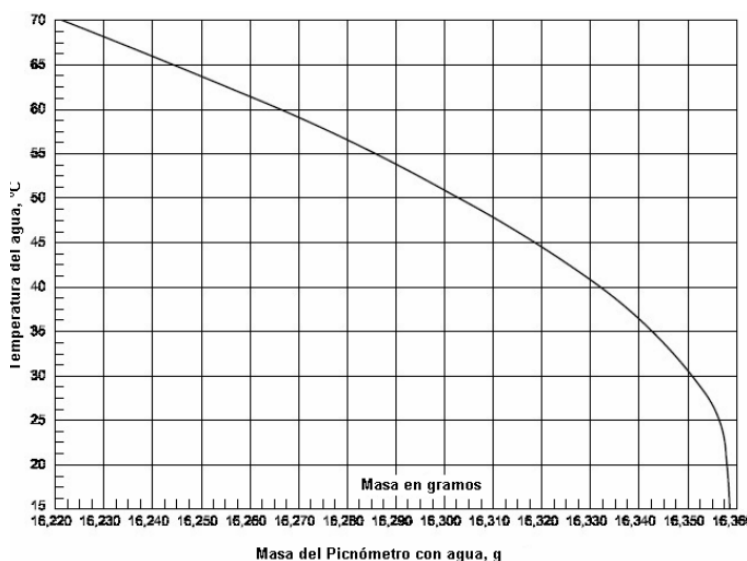
En el caso que no sea posible separar las partículas a mano, se debe colocar la mezcla en una bandeja grande y plana. Se calienta la bandeja en horno hasta que presente una condición favorable (floja) para separar las partículas.

- b) Si las muestras son preparadas en laboratorio, deben ser secadas y curadas al horno a una temperatura de $135 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 2 horas o hasta que presenten una masa constante. Para muestras que no fueron preparadas en laboratorio, se las debe secar a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.
- c) Se enfría la muestra hasta temperatura ambiente y se coloca directamente en uno de los recipientes de vacío descritos (Frasco, tasa, picnómetro).
- d) Se pesa y se determina la masa neta de la muestra, este valor se toma como **A**. Se agrega agua suficiente aproximadamente a 25°C hasta cubrir la muestra completamente.
- e) Para remover el aire atrapado, se aplica el vacío en la muestra con el uso de la bomba de vacío como lo muestra la ilustración 1. Durante este proceso es

necesario agitar el contenedor a intervalos de 2 minutos. Finalmente, la presión debe llegar a $3.7 \pm 0.3 \text{ KPa}$, y se la debe mantener constante durante $15 \pm 2 \text{ min}$.

Se debe usar superficies blandas, como caucho, para manipular los vasos de vidrio.

- f) Una vez aplicado el vacío a la presión indicada durante 15 minutos se libera, soltando la presión a una velocidad no mayor a 8 KPa por segundo.
- g) Para determinar la masa final se usa uno de los siguientes procedimientos:
 - i. *Pesado en Agua:* Se suspende el recipiente y su contenido dentro del baño de agua y se determina su masa después de una inmersión de $10 \pm 1 \text{ min}$. Se mide la temperatura del agua y si esta es diferente a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ se debe corregir la masa a 25°C . Para realizar la calibración puede vaciar rápidamente el vaso (después de haber medido la masa descrita) y posteriormente, sin demora, pesar el vaso vacío totalmente sumergido en el baño de agua. La masa neta de la muestra en el agua a 25°C se designa como **C**.
 - ii. *Pesado al Aire:* Para este procedimiento se debe realizar inicialmente una calibración de los frascos volumétricos o picnómetros. Para ello se debe llenar los frascos con agua a un intervalo de temperatura similar a los que se esperan en el ensayo, y se debe colocar una placa de vidrio, lisa y transparente, que funcione como tapa para asegurar el llenado completo. La masa encontrada a una temperatura de $25 \pm 5^\circ \text{C}$ se designa como **D**. Se debe realizar una curva con todos los valores encontrados de masa del picnómetro para las diferentes temperaturas.



*Ilustración 7 Ejemplo de curva de masa picnómetro vs temperatura del agua.
Fuente: INV E – 735 - 07*

Se llena el recipiente con agua y se llevan sus contenidos a una temperatura de $25^\circ \pm 1^\circ \text{C}$ en el baño de agua. Se determina la masa del recipiente y sus contenidos, completamente lleno, a este valor se lo toma como **E**. Este procedimiento se debe realizar en los $10 \pm 1 \text{ minutos}$ posteriores a lo realizado en el vaciado de presión.

- iii. *Pesado al Aire (tasa)*: Se sumerge la tasa más la muestra y la tapa en el baño durante 10 ± 1 minutos (la tasa no debe estar tapada). Transcurridos los 10 minutos se debe tapar la tasa debajo del agua, deslizando la tapa suavemente y presionándola contra la tasa. Una vez tapada, se retira la tasa y se seca cuidadosamente. Finalmente se determina la masa de la tasa + masa + tapa y se mide la temperatura del agua dentro de la tasa. Se repite el procedimiento hasta que dos masas medidas consecutivas no varíen en más de 1g. Esta masa de: la taza, tapa, el agua y la muestra se designa como **E**.

5. Cálculos

a. Pesado en agua:

$$Gmm = \frac{A}{A - C}$$

A: Masa en el aire de la muestra seca en el horno. (g)

B: Masa del agua desplazada por la muestra a 25°C (g)

b. Pesado en aire:

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E}$$

A: Masa en el aire de la muestra seca al horno (g)

D: Masa del recipiente lleno con agua a 25°C (g)

E: masa del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C (g)

c. Determinación con taza:

$$Gmm = \frac{A}{(A + F) - (G + H)} \times \frac{dw}{09970}$$

A: Masa en el aire de la muestra seca al horno (g)

F: Masa del picnómetro lleno con agua a la temperatura de ensayo. (g)
(Ilustración 2)

G: Masa del picnómetro lleno con agua y muestra a la temperatura de ensayo (g)

H: Corrección por expansión térmica del asfalto. (g)

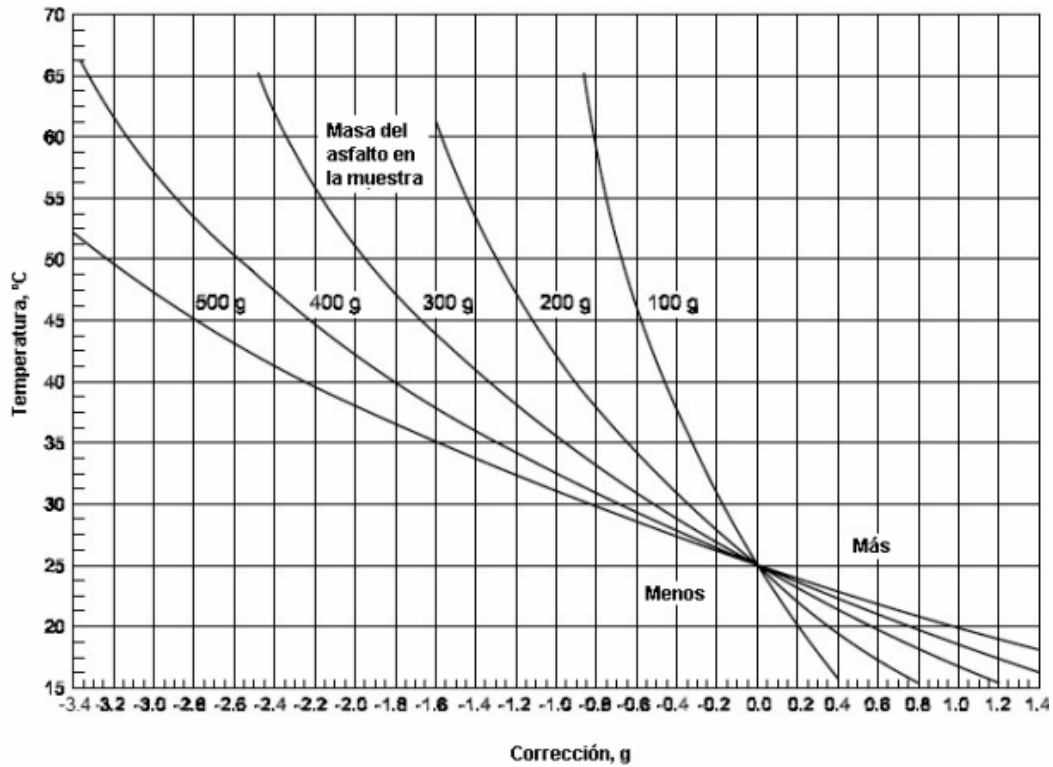


Ilustración 8 Curvas de corrección por expansión térmica del asfalto. Valor H. Fuente INV E
- 135- 07

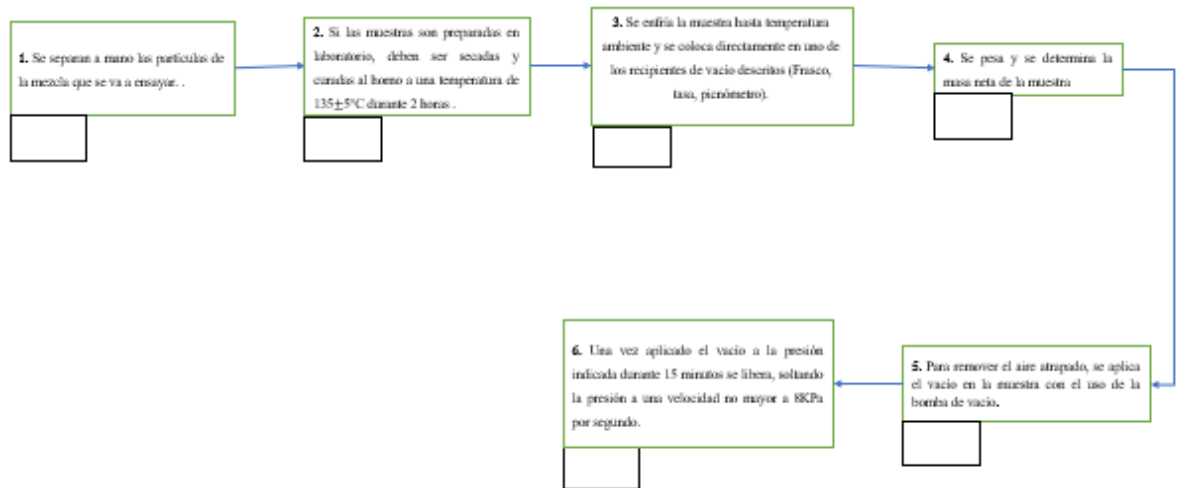
d_w : Densidad del agua a la temperatura de ensayo. (Mg/m³)

0.9970: Densidad del agua a 25°C (Mg/m³)

6. Reporte:

- Reporte la gravedad específica con tres decimales.
- Tipo de mezcla.
- Tamaño de la muestra.
- Número de muestras.
- Tipo de recipiente.
- Tipo de procedimiento.

7. Flujograma



ANEXO H: MANUAL DE LABORATORIO PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Practica: Preparación de Muestras.

1. Referencias

Principal: INV E – 748 - 07

2. Objetivos

- Preparar las probetas de agregado y asfalto para poder medir, en otro ensayo, su resistencia con el aparato Marshall.

3. Equipos

a. **Extractor de probetas.**

Se refiere a un elemento de acero utilizado para extraer las probetas del molde una vez compactadas. Tiene forma de disco, con un diámetro de 100mm y 12.7mm de espesor.

b. **Martillo de compactación**

Dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4mm de diámetro y un pistón deslizante de 4536 ± 9 g de peso total. El pistón debe tener una altura de caída libre de 457.2 ± 1.524 mm.

c. **Molde para moldear las briquetas.**

Molde cilíndrico con collar de extensión y una placa plana como base. El diámetro interno del molde debe ser de 101.6mm y debe constar de una altura interna de 76.2mm. La placa base y el collar deben ser ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Es recomendable trabajar con tres moldes.

d. **Pedestal compactación.**

Pieza de madera con forma prismática. Debe constar de una base cuadrada de 203.2mm de lado y 457.2mm de altura. La cara superior debe estar provista de una platina cuadrada de acero de 304.8mm de lado y 25.4mm de espesor. Esta platina debe estar firmemente sujeta al pedestal de compactación. La madera utilizada para el pedestal debe ser de roble o cualquier madera que presente una densidad seca entre 0.67 y 0.77g/cm³. El conjunto se fija a una base firme de concreto, de este modo, la platina debe quedar en un plano horizontal.

e. **Sujetador del molde.**

Dispositivo con resorte de tensión utilizado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.

f. **Elementos de calefacción**

Se empleará un horno o una placa de calefacción capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor a 2.8°C.

g. **Mezcladora**

Preferiblemente mezcladora mecánica capaz de producir una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si el proceso de mezclado se realiza a mano, es necesario realizarlo sobre una placa de calefacción o estufa, evitando enfriar los materiales o sobrecalentamientos locales.

h. Tamices

Dependiendo de la granulometría escogida, los tamices deben ser los necesarios para producir dicha granulometría.

i. Termómetros blindados

Utilizados para medir la temperatura del asfalto y los agregados, deben ser termómetros con escala mínima entre 9.9°C y 204°C con una sensibilidad de 2.8°C.

j. Balanzas

Deben constar dos balanzas. La primera debe tener una capacidad de 5Kg con una sensibilidad de 1g para pesar los agregados y el asfalto. La segunda debe tener una capacidad de 2KG y una sensibilidad de 0.1g para las briquetas compactadas.

k. Guantes

Guantes de soldar para manejar los equipos calientes.

l. Bandejas metálicas

Bandejas con fondo plano diseñadas para calentar agregados.

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

a) Estimar el contenido óptimo de asfalto.

$$P = 0.02A + 0.07B + 0.15C + 0.20D$$

Donde:

P: Porcentaje de asfalto respecto a peso de agregado seco.

A: Porcentaje de agregado retenido en el tamiz No 50

B: Porcentaje de agregado pasante del tamiz No 50 y retenido en el tamiz No 100

C: Porcentaje de agregado pasante del tamiz No 100 y retenido en el tamiz No 200

D: Porcentaje de agregado pasante del tamiz No 200.

b) Se debe preparar como mínimo un conjunto de 3 briquetas por cada contenido de asfalto. El contenido de asfalto debe variar en 0.5% entre cada conjunto de briquetas. El número de conjuntos debe ser al menos dos por debajo del contenido óptimo de asfalto, al menos 1 en el contenido óptimo y al menos dos por encima del contenido óptimo de asfalto; de tal modo que se pueda graficar una curva con los resultados obtenidos.

c) De este modo, para un diseño de seis contenidos de asfalto, se debe separar suficiente material del agregado y cemento asfáltico para preparar 18 briquetas. De estas 18, un conjunto de 3 briquetas será utilizado para medir la gravedad máxima teórica. Las briquetas requieren aproximadamente 1200g de material, entre el cuál se encuentra alrededor de 1150g de

agregados y alrededor de 50g de cemento asfáltico. Para una gradación dada, es una buena práctica disponer de aproximadamente 23Kg de agregado y 4 litros de cemento asfáltico.

- d) Los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura entre 105° y 110°C. Habiendo calculado la cantidad de agregados necesarios para satisfacer la granulometría, se debe tamizar los pesos necesarios de agregados. En general es recomendable usar las porciones enlistadas a continuación. Sin embargo, no es mandatorio.

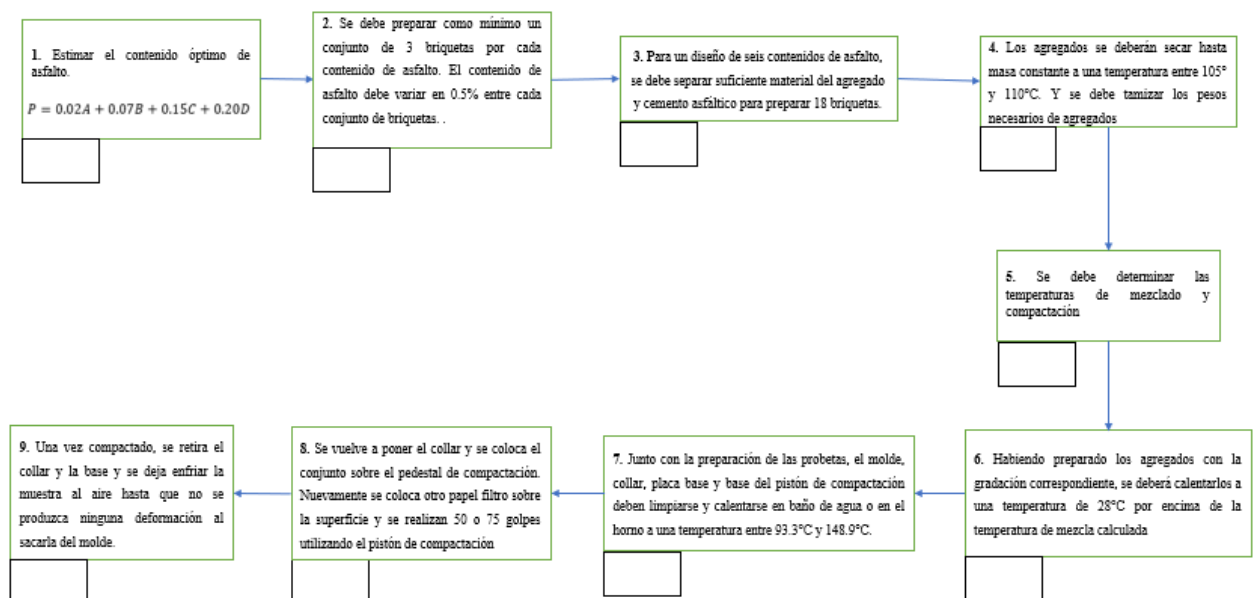
25.0mm a 19.0mm	1" a 3/4"
19.0mm a 9.50mm	3/4" a 3/8"
9.50mm a 4.75mm	3/8" a No.4
4.75mm a 2.36mm	No.4 a No.8
Pasante de 2.36mm	No. 8

- e) Se debe determinar las temperaturas de mezclado y compactación teniendo en cuenta que: la temperatura de mezcla a la cual se debe calentar el cemento asfáltico es la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 *centiStokes*. Por otro lado, la temperatura de compactación será la necesaria para producir una viscosidad de 280 ± 30 *centiStokes*. Para determinar estas temperaturas puede guiarse de la figura 6 enlistada en la norma INV 748-07.
- f) Habiendo preparado los agregados con la gradación correspondiente, se deberá calentarlos (puede usar una plancha de calentamiento o el horno) a una temperatura de 28°C por encima de la temperatura de mezcla calculada en el literal anterior. Una vez realizado esto se vierten los agregados al recipiente de mezclado y se mezclan en seco. Se abre un cráter en los agregados y se vierte la cantidad de asfalto calculada. En este punto ambos (agregados y asfalto) deben estar en el intervalo de temperaturas de mezcla calculadas en el literal anterior. Finalmente se debe mezclar los materiales lo más rápido posible hasta obtener una mezcla homogénea. Es preciso que las probetas resulten en una altura de 36 ± 1.3 mm.
- g) Junto con la preparación de las probetas, el molde, collar, placa base y base del pistón de compactación deben limpiarse y calentarse en baño de agua o en el horno a una temperatura entre 93.3°C y 148.9°C.
- h) Se arma el molde de las probetas y se coloca papel filtro en el fondo del molde. A continuación, se coloca toda la muestra recién fabricada en el molde y se golpea 15 veces sobre perímetro y 10 veces sobre el interior con una espátula caliente. Se retira el collar y se enlisa la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada.
- i) Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto sobre el pedestal de compactación. Es preciso recalcar que la temperatura de la muestra antes de la compactación debe estar entre los límites calculados en el literal h.

Nuevamente se coloca otro papel filtro sobre la superficie y se realizan 50 o 75 golpes utilizando el pistón de compactación. El número de golpes es una variable dependiente del tránsito de diseño. Hay que recordar que la caída libre del pistón de compactación debe ser de 457.2mm. Una vez realizado este procedimiento, se retira la placa base y se invierte la briqueta armando de nuevo el molde y el collar de compactación. Finalmente, se compacta la nueva cara superficial aplicando el mismo número de golpes.

- j) Una vez compactado, se retira el collar y la base y se deja enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación al sacarla del molde. Para ello se puede utilizar ventiladores de mesa, pero bajo ningún caso puede implementarse agua. Habiéndose enfriado a la temperatura necesaria, se saca cuidadosamente del molde utilizando el extractor. A continuación, se mide el perímetro, altura y se deja enfriar por una noche entera en una superficie plana y lisa.

5. Flujograma



ANEXO I: MANUAL DE LABORATORIO PARA MARSHALL

Practica: Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.

1. Referencias

Principal: INV E – 748 - 07

2. Objetivos

- Determinar la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación.

3. Equipos

a. Mordazas.

Dos segmentos cilíndricos con radio de curvatura interior de 50.8mm. Ambos segmentos forman un solo equipo. El segmento inferior se establece sobre una base plana con dos varillas perpendiculares a la misma. Estas varillas sirven de guía para el segmento superior. El movimiento de la mordaza superior sobre la mordaza inferior no debe generar rozamiento notable.

b. Medidor de deformación.

Consiste en un deformímetro de lecturas cada 0.25mm. Durante el ensayo el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará sobre una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.

c. Prensa.

La prensa dispuesta para la rotura de las probetas podrá ser mecánica o hidráulica. La prensa debe ser capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8mm por minuto y su capacidad mínima de carga deberá ser de 40Kn.

d. Medidor de estabilidad.

Se trata de un anillo dinamométrico acoplado a la prensa. Este anillo cumple la función de medir la resistencia de la probeta en el ensayo. El anillo debe tener una capacidad de 22.2Kn, con una sensibilidad de 44.5N hasta 4.45Kn y 111.2N hasta 22.2Kn.

e. Tanque para agua.

Deberá ser un tanque de 152.4mm de profundidad con un fondo falso perforado para sostener las probetas sumergidas por lo menos 50.8mm sobre el fondo del tanque. La temperatura del tanque debe estar controlada por cualquier dispositivo tal que pueda mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

f. Termómetros blindados

Termómetros con escala mínima entre 9.9°C y 204°C con una sensibilidad de 2.8°C.

g. Guantes

Guantes de soldar para manejar los equipos calientes.

h. Horno

Capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor a 2.8°C

4. Procedimiento (Complementar con flujograma)

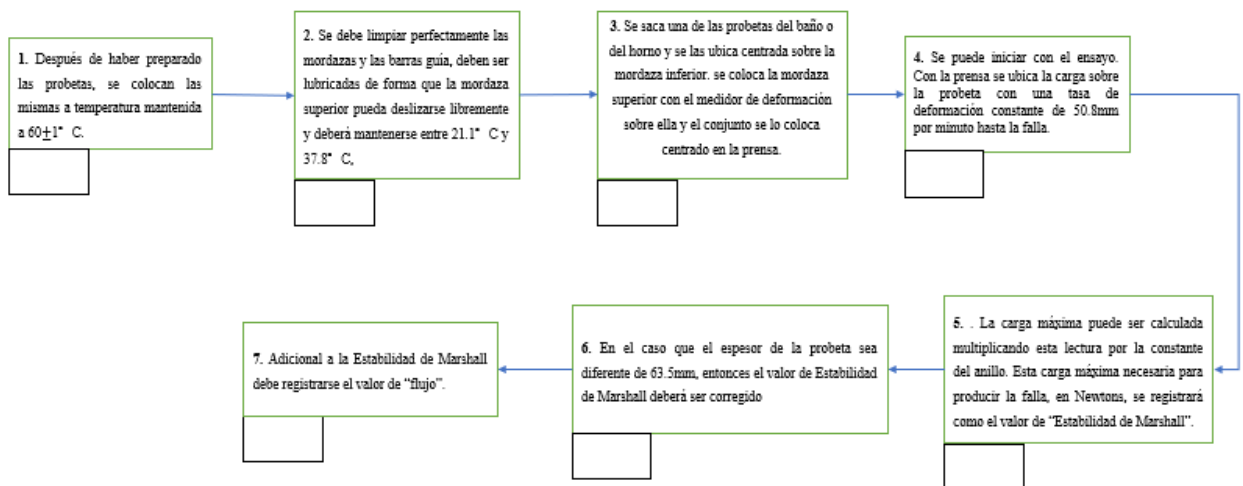
- a) Después de haber preparado las probetas, se colocan las mismas en un baño de agua durante 30 o 40 minutos. También se puede introducir las probetas en un horno durante 2 horas. Sea cual sea el caso, la temperatura debe ser mantenida a $60 \pm 1^\circ\text{C}$.
- b) Se debe limpiar perfectamente las mordazas y las barras guía. Adicionalmente, las barras guía deben ser lubricadas de forma que la mordaza superior pueda deslizarse libremente. Así mismo, la temperatura de las mordazas deberá mantenerse entre 21.1°C y 37.8°C , para ello se debe usar un baño de agua cuando sea necesario.
- c) Se saca una de las probetas del baño o del horno y se las ubica centrada sobre la mordaza inferior. A continuación, se coloca la mordaza superior con el medidor de deformación sobre ella y el conjunto se lo coloca centrado en la prensa. Una vez realizado esto, se ubica el medidor de flujo en posición y se ajusta la medición a 0. El medidor debe estar todo el firmemente ubicado sobre la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
- d) A continuación, se puede iniciar con el ensayo. Con la prensa se ubica la carga sobre la probeta con una tasa de deformación constante de 50.8mm por minuto hasta la falla. Se anota la carga máxima registrada en la maquina o, si es el caso, se puede anotar la lectura de deformación en el dial. La carga máxima puede ser calculada multiplicando esta lectura por la constante del anillo. Esta carga máxima necesaria para producir la falla, en Newtons, se registrará como el valor de “Estabilidad de Marshall”.
- e) En el caso que el espesor de la probeta sea diferente de 63.5mm, entonces el valor de Estabilidad de Marshall deberá ser corregido. Para ello se debe multiplicar el valor encontrado por el factor correspondiente en la tabla 1 de la norma INV E – 748 - 07
- f) Adicional a la Estabilidad de Marshall debe registrarse el valor de “flujo”. Este valor será la lectura del medidor de deformación (en mm) en el instante de alcanzar la carga máxima. Este valor indica la disminución del radio que sufre la probeta desde la carga de 0 hasta la carga máxima correspondiente a la rotura.

- g) **IMPORTANTE:** Todo el procedimiento enlistado (desde sacar las probetas del agua u horno) debe realizarse en un período de no más a 30 segundos. Además, el proceso detallado en esta guía debe realizarse para todas las probetas preparadas en la parte de “Preparación”.

5. Reporte:

- Reporte el tipo de muestra ensayada: Muestra de laboratorio o núcleo tomado de un pavimento.
- Valor promedio de la carga máxima de por lo menos tres especímenes en Newtons.
- Valor promedio del flujo de tres especímenes con una tolerancia de 0.25mm.
- Temperatura del ensayo

6. Flujograma



IMPORTANTE: Todo el procedimiento enlistado (desde sacar las probetas del agua u horno) debe realizarse en un periodo de no más a 30 segundos.