UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

" Propuesta de Manual para la asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador"

PRESENTADO POR:

JOSE TULIO PINEDA MARTINEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 1997

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL :

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO :

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de :

INGENIERO CIVIL

Título :

" Propuesta de Manual para la asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador "

Presentado por :

JOSE TULIO PINEDA MARTINEZ

Trabajo de Graduación aprobado por :

Coordinador :

Ing. José Miguel Landaverde Quijada

Asesor :

Ing. Msc. Enrique Edgardo Melara Ruíz

San Salvador, Marzo de 1997

Trabajo de Graduación aprobado por :

Coordinador :

Ing. José Miguel Landaverde Quijada

Asesor :

Ing. Msc. Enrique Edgardo Melara Ruíz

FAC. DE ING. Y ARQ. -- UES
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de El Salvador y en especial al personal Docente y Administrativo de la Escuela de Ingeniería Civil

Al Ingeniero José Miguel Landaverde Quijada por su valiosa coordinación y muy especialmente al Ing. Msc. Enrique Edgardo Melara Ruíz por el tiempo y esfuerzo dedicado a la asesoría de este Trabajo.

A la Empresa NHA COMPAÑIA DE INGENIEROS S.A. de C.V. para la cual orgullosamente trabajo, por la logística otorgada a mi persona para llevar a buen término el presente Trabajo.

Al Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura del Instituto Tecnológico Centroamericano (I.T.C.A.- FEPADE) por haberme dado la oportunidad de aprender- enseñando durante laboré para esta Institución

A todas aquellas Instituciones o personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de éste Trabajo.

DEDICATORIA

*A "**DIOS**" mi único y verdadero Señor*

*Por **darme** la seguridad de saber que de su mano todo es posible*

*A MI ESPOSA **LOLITA***

Por el gran amor demostrado a través de sus actos

A MIS HIJOS FÁTIMA, VICTORIA, JOSÉ TULIO Y JOSÉ MARIO

Por su divina presencia y amor verdadero

AL Ing.Msc. ENRIQUE E. MELARA (Mi Maestro)

Por su consejo sabio y ejemplar amistad

A MIS PADRES

José Pedro	*Por su amor y respeto hacia mi persona*
Ana Rosario	*Por darme la vida y su consuelo*

A MIS HERMANOS Y SUS ESPOSAS

Sinforiano y Rosita	*Por el cariño y apoyo en momentos difíciles*
Luis Mario y Carmen Elena	*Por su gran amor y respeto a mi persona*
Edwin y Azucena	*Por la alegría de su presencia*
Juan Alberto	*Por su compañía*

A MI TIA "CHABELITA" MARTÍNEZ

Por darme la mano cuando más lo necesitaba en mi carrera. Dios se lo pague

A MI TIO SALVADOR ANTONIO

Por su ejemplo y apoyo inmensurable

A MIS TIOS JUANITO, DORIS, GERTRUDIS Y MERCY

Mi cariño, lo que puedo darles

AMIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO

Por apoyarme a seguir adelante

José Tulio

INDICE

	Pág.
PROLOGO	i

CAPITULO I

"MARCO TEÓRICO"

	Pág.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
ALCANCES Y LIMITACIONES	3
JUSTIFICACION	4

CAPITULO II

"ENSAYOS DE SUELOS"

	Pág.
GENERALIDADES	6
ENSAYO N°1 MUESTREO DE AGREGADOS	16
ENSAYO N°2 GRANULOMETRIA	23
ENSAYO N°3 LIMITES DE CONSISTENCIA	30
ENSAYO N°4 GRAVEDAD ESPECIFICA	44
ENSAYO N°5 DESGASTE USANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES	51
ENSAYO N°6 RELACION DENSIDAD-HUMEDAD	58
ENSAYO N°7 CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO	68
ENSAYO N°8 EQUIVALENTE DE ARENA	80

CAPITULO III

"MATERIALES PETREOS"

	Pág.
GENERALIDADES	88
ENSAYO N° 9 GRANULOMETRIA	104
ENSAYO N°10 DESGASTE USANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES	111
ENSAYO N°11 EQUIVALENTE DE ARENA	111
ENSAYO N°12 SANIDAD DE AGREGADOS	112
ENSAYO N°13 CUBICIDAD DE PARTICULAS	121
ENSAYO N°14 IMPUREZAS ORGANICAS	129
ENSAYO N°15 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE GRAVAS	133
ENSAYO N°16 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE ARENAS	142
ENSAYO N°17 PESO UNITARIO Y VACIOS EN AGREGADOS	148

CAPITULO IV

"ENSAYOS DE ASFALTOS"

	Pág.
GENERALIDADES	154
ENSAYO N°18 PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS	173
ENSAYO N°19 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS	179
ENSAYO N°20 DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFALTICOS	187
ENSAYO N°21 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO DE AC	193
ENSAYO N°22 FLOTACION PARA MATERIALES BITUMINOSOS	198
ENSAYO N°23 SOLUBILIDAD PARA MATERIALES ASFALTICOS	203
ENSAYO N°24 PUNTO DE FLAMA Y DE LLAMA DE ASFALTOS	208
ENSAYO N°25 GRAVEDAD ESPECIFICA DE MATERIALES ASFALTICOS	214
ENSAYO N°26 DESTILACION DE ASFALTOS LIQUIDOS	220
ENSAYO N°27 CARGA ELECTRICA DE LAS PARTICULAS EN E.A	227
ENSAYO N°28 DESTILACION DE EMULSIONES ASFALTICAS (E.A)	233
ENSAYO N°29 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS EN E.A	239
ENSAYO N°30 ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE E.A	241
ENSAYO N°31 TAMIZADO DE LAS E.A	246
ENSAYO N°32 RESIDUO ASFALTICO DE UNA E.A POR EVAPORACION	250
ENSAYO N°33 HABILIDAD PARA EL RECUBRIMIENTO DE LAS E.A.	255
ENSAYO N°34 DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS (E.A)	260
ENSAYO N°35 MISCIBILIDAD DE LAS E.A CON CEMENTO PORTLAND	265

CAPITULO V

"DISEÑO DE MEZCLAS"

	Pág
GENERALIDADES	268
GRADACION COMBINADA DE AGREGADOS	269
DISEÑO DE M.A.C. USANDO EL METODO MARSHALL	273
PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO HIDRAULICO, METODO ACI	308

CAPITULO VI

"CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS"

	Pág.
GENERALIDADES	335
EL LABORATORIO DE CAMPO PARA EL CONTROL DE CALIDAD	336
FUNCIONES DEL LABORATORIO DE CAMPO	336
ALCANCES DEL LABORATORIO DE CAMPO	338
LIMITACIONES DEL LABORATORIO DE CAMPO	339
RECURSOS DEL LABORATORIO DE CAMPO	340
CONTROL DE CALIDAD DE PETREOS Y SUELOS	341
CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS DE TERRACERIA	341
CONTROL DE CALIDAD DE ASFALTOS	342
CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS	345
CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO HIDRAULICO	349
ENSAYO N°36 GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA DE M.A	351
ENSAYO N°37 GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE M.A COMPACTADA	356
ENSAYO N°38 PORCENTAJE DE VACIOS EN MEZCLA ASFALTICA	361
ENSAYO N°39 EXTRACCION DE ASFALTO EN MEZCLAS ASFALTICAS	365

CAPITULO VII

"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

	Pág.
GENERALIDADES	369
CONCLUSIONES	369
RECOMENDACIONES	372
TRABAJOS FUTUROS	374
REFERENCIAS	375
BIBLIOGRAFIA	376

PROLOGO

En la Ingeniería Civil existen muchos Temas de Investigación muy interesantes y cuyos propósitos, generalmente es dar un aporte al desarrollo de la investigación en nuestro medio. Muchos méritos tiene el desarrollo de este tipo de trabajos, pues de cierto, al finalizar se ha llegado a determinar que las leyes o principios básicos que rigen el comportamiento de los fenómenos o variables investigadas, siguen o no teniendo validez para las condiciones locales del sitio en que se desarrolló la investigación. En muchos de los casos, el aporte es tan significativo que se llega a determinar las condiciones locales bajo las cuales se pueden aplicar estos principios universales, para obtener resultados que sean confiables por su concordancia con el comportamiento real del fenómeno investigado. Lamentablemente este conocimiento muy pocas veces llega hasta las aulas de la Universidad, debido a circunstancias muy diversas, únicamente queda de por medio la iniciativa individual de aquellos que interactuan en el tan complicado escenario de la enseñanza.

A diferencia de lo anterior, una Propuesta de Manual de clase a nivel Universitario basado en una recopilación bibliográfica, está a más corta distancia para poder llegar a ser del conocimiento de un grupo considerable de personas que interactuan en el proceso de enseñanza-aprendizaje. De la misma manera, para que sea confiable la información contenida en éste, debe ser actualizada y sustentada por investigaciones que han sido universalmente aceptadas por su aporte al desarrollo de la Ingeniería. Así la intención de trabajos como el presente justifica su ejecución a través de su aporte directo orientado a la formación de nuevos profesionales mejor capacitados.

Así en principio, este **Manual de Laboratorio de Pavimentos** pretende poder contribuir a que en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, exista la información bibliográfica necesaria en esta área, para la divulgación de los procedimientos de laboratorio más utilizados en la práctica rutinaria de la construcción de Pavimentos, dado que en el País existe muy poca divulgación de este tipo de información.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador la asignatura PAVIMENTOS dejó de impartirse a consecuencia de varios factores, entre los que se pueden mencionar la falta del recurso humano idóneo (docentes) para impartirla, ya que en los últimos 15 a 20 años, dicha Escuela ha experimentado una fuga de profesionales como resultado de circunstancias adversas internas y externas a la misma, como lo son la falta de incentivos económincos y académicos hácia estos profesionales, así como también el permanente deterioro institucional que la misma ha experimentado como consecuencia de la coyuntura política surgida dentro de esta, durante el conflicto armado recién pasado.

En este momento y a cinco años de haberse firmado los acuerdos de paz , El Salvador se enfrenta a la globalización . Estas circunstancias han puesto al descubierto la importancia que en este momento tiene, la reconstrucción de toda la red vial del país.

Debido a esta importancia y evidenciando la necesidad de preparar recursos humanos en esta área, se hace necesario que el currículo de la carrera Ingeniería Civil incluya en este momentola asignatura "PAVIMENTOS" y como complemento de esta la asignatura "LABORATORIO DE PAVIMENTOS".

Actualmente se desarrolla un aproximado del 10% del total de proyectos de carreteras proyectadas; los cuales se desarrollaran en los próximos 8 ó 10 años. En estos proyectos se podrán aplicar nuevas técnicas de pavimentación por lo que será necesario, que los profesionales involucrados en el desarrollo de los mismos, conozcan los aspectos fundamentales que encierra esta rama de la Ingeniería Civil.

El documento que se presenta , se titula **"Propuesta de Manual para la asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador"** , y se ha estructurado de tal forma que en su contenido estén contemplados los tópicos básicos de tal área, a fin de que la formación académica del futuro profesional de la Ingeniería Civil , sea acorde a las circunstancias actuales del país.

El manual sigue la experiencia nacional en cuanto a la realización de los ensayos planteados, así como también la de organismos especializados entre los que se mencionan la AMERICAN ASSOCIATION STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL (AASHTO) , la AMERICAN STANDARD FOR TESTING MATERIALS (ASTM) o el ASPHALT INSTITUTE (IA)

OBJETIVOS

Ante el actual auge carretero del país, se hace fundamentalmente necesario que dentro del currículo de asignaturas electivas de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, sean incluidas las asignaturas PAVIMENTOS y LABORATORIO DE PAVIMENTOS, debido a que la demanda de profesionales conocedores de esta área en este momento de la reconstrucción de la red vial de el País, hace necesario que se formen recursos humanos , para llenar este vacío que se esta evidenciando en la formación académica de los Ingenieros Civiles.

En El Salvador, pocos son los Ingenieros Civiles que cuentan con conocimientos especializados, en esta área en lo relativo al Diseño, Construcción y Supervisión de Pavimentos, ya que no existe una Universidad que ofrezca asignaturas sobre esta especialidad.

Es por esto que con el presente trabajo se pretenden lograr los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Elaborar el documento denominado **"Propuesta de Manual para la asignatura Laboratorio de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador"**, estructurado de tal forma que pueda servir de guía en la implementación de esta asignatura y en cursos de capacitación, a fin contribuir a la formación de los recursos humanos que actualmente se necesitan, como consecuencia del auge que últimamente ha tomado el área Diseño, Construcción y Supervisión de Carreteras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Servir como material didáctico guía, en el momento que se implemente la asignatura LABORATORIO DE PAVIMENTOS.

2. Que pueda ser utilizado para capacitar a los profesionales involucradas en el quehacer del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador.

3. Dar continuidad al trabajo desarrollado en cuanto al Reequipamiento e Implementación del Laboratorio, para que con este manual se pueda ampliar el servicio a la Empresa Privada por parte de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad. **Ayala R., De León S. y Oliva A.(1995)**

4. Servir de guía en la implementación de cursos de extensión para profesionales involucrados en el área del Diseño, Construcción y Supervisión de Carreteras.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Cada Capítulo de este trabajo contiene los aspectos necesarios de tal forma que al ser considerado como texto guía en la implementación de la asignatura en cuestión, pueda ayudar a que los futuros profesionales de la Ingeniería Civil sepan implementar las técnicas necesarias en lo relativo al área de Laboratorio de Pavimentos dentro de un proyecto de Carreteras.

Así el desarrollo de este trabajo se realiza a través de Siete (7) CAPÍTULOS; cada uno conteniendo los siguientes aspectos :

CAPITULO I, se presenta el Marco Teórico que contiene los aspectos generales como lo son Objetivos, Alcances y Limitaciones, terminando este con la Justificación del trabajo.

Cada ensayo presentado en este trabajo, contendrá Alcances, Documentos afines, significado y uso, equipo y materiales a utilizar, preparaciones previas (muestra , soluciones o condiciones especiales para el ensayo), procedimiento, cálculo, aspectos que debe contener el informe de laboratorio .

Al final de cada ensayo se presentan comentarios sobre el proceso del ensayo realizado y sobre la utilidad del mismo.

Así, tenemos que en el :

CAPITULO II, se presentan los ensayos relativos a los Suelos que se utilizaran en un proyecto de Carreteras.

CAPITULO III, se desarrollan los ensayos concernientes a los Materiales Pétreos que se utilizaran en un proyecto específico de Carreteras.

El CAPITULO IV incluye los ensayos de los Materiales Aglutinantes (Asfaltos y Cemento Hidráulico) que se utilizaran en la Construcción de un proyecto de Carreteras.

El CAPITULO V esta dedicado exclusivamente al diseño de Mezclas de concreto Asfáltico (en caliente) e Hidráulico utilizando el Método MARSHALL y el Método del AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), respectivamente.

La inclusión de los métodos Marshall y ACI obedece a que en El Salvador son los métodos más usados para el diseñó y control de tales mezclas, por ser los métodos que generalmente son sugeridos en las especificaciones técnicas de un proyecto específico de Carreteras.

El método Marshall se usará considerando una aplicación normal del mismo, aunque es de hacer notar que existe un estudio sobre la racionalización de este, para las condiciones predominantes en El Salvador, en el cual se modifican los aspectos que pueden ser los mas incidentes en la vida útil de las mezclas asfálticas en servicio (Velocidad de desplace, intensidad de cargas, precipitación pluvial y temperatura prevaleciente). **Melara R., Hernández V. y Morán R, (1982).**

El diseño del concreto Hidráulico se basará también en una aplicación normal del método del ACI, utilizando el procedimiento desarrollado según el texto STANDARD PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR NORMAL, HEAVYWEIGHT, AND MASS CONCRETE (ACI 211.1-81) (REVISADO EN 1984), TRADUCIDO AL ESPAÑOL Y EDITADO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C. (IMCYC), SEGUNDA EDICIÓN, PRIMERA REIMPRESIÓN : 1990.

El CAPITULO VI contiene los aspectos concernientes al control de calidad de Suelos, Materiales Pétreos, Asfáltos y Carpeta de Superficie, haciendo énfasis en los ensayos más importantes para tal control de calidad. Además se incluye aquí los aspectos generales en lo relativo al funcionamiento de un Laboratorio de Pavimentos en el campo para el Control de Calidad, durante el desarrollo de un proyecto de Carreteras haciendo énfasis en las funciones, alcances, limitaciones y responsabilidades del mismo y del personal que lo conforma.

En el CAPITULO VII se presentan la Conclusiones y Recomendaciones más relevantes de este Trabajo en base a el propósito fundamental de cada Capítulo y del Trabajo en general. Así también se presentan algunas sugerencias sobre Trabajos Futuros concebidos de tal forma de poder aplicar los procedimientos de ensayo presentados en este **Manual de Laboratorio de Pavimentos.**

JUSTIFICACIÓN

En El Salvador es evidente la necesidad de profesionales capacitados en el área de Pavimentos, ya que a juzgar por los resultados obtenidos hasta el momento, se detecta que el mayor problema con el que se enfrentan las Empresas encargadas de Diseñar, Construir y Supervisar estos proyectos, es la falta de un cuadro de profesionales capaces no solo de llevar a buen término un proyecto sino que también, de proponer soluciones ante los problemas surgidos durante la ejecución de los mismos.

CAPITULO I : MARCO TEÓRICO

Actualmente, los trabajos exigen un significativo grado de competitividad profesional para el Ingeniero Civil, competitividad que va desde el conocimiento básico de principios, especificaciones y procedimientos bajo los cuales se ejecutan los proyectos para los que ellos son contratados, hasta la experiencia de campo que estos mismos posean.

En el área de Pavimentos, son pocos los Ingenieros Salvadoreños con conocimiento de esta área, por lo que actualmente, debido a la demanda de estos profesionales , se hace necesario capacitar los recursos humanos para que en el País , se puedan construir obras de ingeniería (Carreteras) de buena calidad.

Lo anterior constituye un reto no solo para la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador sino también para las demás Escuelas de las Universidades Privadas del País, por el hecho de que el actual auge carretero constituye una oportunidad para que las mismas formen los recursos humanos que se necesiten para hacer frente a tal situación.

Así pues el Currículo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador debe ser dinámico y cambiante en el área electiva, ya que así de esta manera, se podrá contribuir a la formación de los cuadros de profesionales que el momento del País requiere.

Conscientes de esa realidad, se propone revisar continuamente el currículo de asignaturas del área electiva de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, con el propósito de que el mismo se adapte a los cambios tecnológicos que se están presentando en el mundo moderno, como consecuencia de las necesidades que surjan en el futuro del País.

Esta adaptación del currículo solamente será posible a través de la implementación de asignaturas electivas, las cuales tienen que ir acorde a las circunstancias y necesidades del País.

Con este trabajo se pretende motivar en cuanto a la implementación de este tipo de asignaturas y otras de necesidad actual dentro de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, a fin de poder contribuir al desarrollo a través de profesionales mejor capacitados; ya que solo así se estará obedeciendo a las necesidades tecnológicas requeridas para el desarrollo del País.

CAPITULO II

ENSAYOS

DE

SUELOS

I.1 GENERALIDADES

Las principales características de los suelos son :

a. Su composición química y mineralógica
b. El tamaño de sus partículas
c. La forma de sus partículas.
d. Su Peso Específico.
e. Su Contenido de Agua.
f. La estructura de su masa.

Cada una de estas, tiene influencia directa sobre el suelo al que pertenecen, ya que dependiendo de relevancia que tenga cada una de estas dentro de un suelo particular, así podrá ser clasificado el mismo.

Hoy en día, las clasificaciones de suelos se realizan de acuerdo a dos sistemas de clasificación conocidos :

a. Sistema de Clasificación AASHTO.

La AASHTO que representa a todos los Departamentos de Carreteras de los Estados Unidos de Norte América, a adoptado el Sistema de Clasificación propuesto en 1929 por el Bureau of Public Roads

Según este Sistema, los suelos son clasificados en Siete (7) grupos principales (A-1 hasta el A-7), con subdivisiones en algunos casos. Las propiedades de los suelos necesarias para el uso de este Sistema son su Granulometría y su Plasticidad. La evaluación de cada grupo se lleva a cabo, a través del Índice de Grupo, el cual es calculado mediante la siguiente Ec. II.1. Según este Sistema un suelo grueso es aquel que presenta un retenido sobre la malla N°200, mayor que el 35% del peso seco del suelo ensayado.(Ver ANEXO I)

$$IG = (F-35)\,[0.2 + 0.005(LI - 40)] + 0.01\,(F - 15)\,(Ip - 10) \qquad \text{(Ec. II.1)}$$

a. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Fue adoptado en 1952 por varias agencias Estatales de los Estados Unidos de Norte América, como resultado del Sistema de Clasificación de Suelos para Aeropuertos desarrollado por A. Casagrande.

Este Sistema de Clasificación representa a los grupos de suelos, utilizando simbología de letras, la cual estará definida dependiendo de las propiedades granulométricas y de plasticidad que el mismo posea.(VER ANEXO II). Según este Sistema un suelo grueso es aquel que presenta un retenido sobre la malla N°200, mayor del 50% respecto al peso seco del suelo ensayado.

En el desarrollo de un proyecto de pavimentación se vuelve necesario controlar que los materiales granulares y los suelos, cumplan con los requerimientos convenidos en las especificaciones técnicas de los mismos. Por esto, se hace necesario desarrollar todos los ensayos primordiales que nos permitan conocer sus características de gradación, plasticidad, dureza, resistencia, etc, de tal forma de poder verificar su calidad antes y durante la utilización de los mismos.

A continuación se presenta una generalidad de los ensayos presentados en este Capítulo II :

I.1.1 GRANULOMETRIA

Granulométricamente un suelo puede dividirse en tres categorías a saber :

a. Suelo grueso : Materiales retenidos en la malla N°4 (4.75 mm de abertura cuadrada)

b. Arenas : Materiales que pasan la malla N°4 (4.75 mm) y que se retienen en la malla N°200 (0.075 mm).

c. Suelo fino : Materiales que pasan la malla N°200 (0.075 mm de abertura cuadrada).

La granulometría de un suelo puede realizarse mediante diferentes métodos, los cuales obedecen al tipo de suelo que se esta analizando así :

a. Método Mecánico

Se utiliza para obtener la granulometría de suelos cuyos tamaños son mayores que la malla N°200. Este método se realiza utilizando cribas o mallas de abertura cuadrada, colocadas en orden descendente según esta abertura.

Para los intereses que persigue este trabajo, la granulometría de los suelos, deberá incluir LAVADO ya que, las especificaciones para materiales de base y sub-base son muy estrechas en cuanto a los porcentajes de finos permisibles en los suelos a utilizar. Esto significa que la muestra a analizar, deberá lavarse a través de la malla N°200, antes de aplicarle el proceso mecánico de tamizado, a fin de determinar más exactamente, el porcentaje de materiales menores que dicha malla. El proceso se indica mas adelante en el procedimiento del ensayo granulométrico.

b. Método del Hidrómetro

Se utiliza para obtener la granulometría de suelos cuyos tamaños son menores que la malla N°200.

Este método utiliza un Hidrómetro o Densímetro que permite determinar el Peso Volumétrico del líquido en el cual se sumerge. La prueba se efectúa sedimentando una suspensión de suelo fino en agua destilada y midiendo la variación del Peso Volumétrico, de la suspensión, con respecto al tiempo a medida que se asientan los granos del suelo. Este método proporciona los datos necesarios para determinar el DIÁMETRO MÁXIMO de las partículas en suspensión y el peso de ellas.

El concepto de diámetro en esta prueba es diferente del establecido en el Método Mecánico , en el cual el tamaño máximo se fija como la abertura de la malla, en la que se retienen aquellas partículas de mayor tamaño. Por su lado el método del Hidrómetro determina el diámetro de las partículas de suelo, atribuyendo a las mismas un valor obtenido en función de la velocidad de caída de una esfera dentro del agua, la cual se supone que es igual a la del grano de suelo, aún cuando la forma de éste no sea ni remotamente esférica.

Para los propósitos de este curso el método del Hidrómetro no será desarrollado, ya que la granulomètría de los finos (tamaños menores que la malla N°200) no es afín a los objetivos que en este mismo se persiguen, el lector puede referirse a la norma ASTM D 422 - 63 (Reaprovada 1972) para mayor detalle sobre este método de ensayo.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA GRANULOMETRIA

Para lograr una mejor apreciación sobre las características de un suelo, desde el punto de vista del tamaño de sus granos, podemos representar gráficamente los resultados de una granulometría, tomando en cuenta para ellos los siguientes factores:

1. Tamaño de las mallas usadas en el proceso; equivale esto a tomar en consideración algunos de los tamaños de agregados presentes en el suelo(diámetro de las mallas).

2. Porcentaje de suelo que pasa c/u de las mallas usadas en el proceso de tamizado(% que pasa).

Hay que hacer incapie en lo siguiente:

1. Debido a que en el proceso de tamizado se incluyen tamices los cuales tienen aberturas muy pequeñas(ej: malla 200) es muy conveniente usar una ESCALA

LOGARÍTMICA (abscisas) para el ploteado de dicha magnitud (abertura de mallas) y otra ESCALA NATURAL (ordenadas) para el ploteo de los porcentajes que pasan c/u de las mallas.

2. Para que la representación gráfica sea fidedigna hay que asegurarse que el tiempo de vibrado haya sido suficiente para el logro de tal propósito, ya que para efectuar un buen análisis granulométrico debemos de asegurarnos que todas las partículas tenga la oportunidad de estar en contacto con c/u de las mallas por donde pueda pasar, ya que se ha demostrado que la curva granulométrica cambia cuando se cambia el tiempo de vibrado, llegado un momento (aquel en el que el tiempo de vibrado a sido suficiente) la curva se vuelve constante.

3. La importancia de una buena granulometría estriba en que:

   a. Nos permite apreciar mejor la distribución de los tamaños de granos en una masa de suelo.

   b. Nos permite analizar el comportamiento granulométrico de un suelo, esto es, que tan bien graduado está dicho suelo. Así entonces podremos reconocer un suelo como mal o bien graduado dependiendo de la forma de su curva granulométrica.

I.1.2 Límites de Consistencia

En el año de 1911, al estudiar la plasticidad de las arcillas para ser usadas, en alfarería, A.Atterberg, científico sueco, propuso estados de consistencia, arbitrarios, de los 4 estados en que pueden presentarse los suelos finos (limos y arcillas) al variar su contenido de agua.

En Mecánica de suelos hay 3 contenidos de humedad de un suelo que son de mucha utilidad, éstos son:

1- Límite Líquido (wl).
2- Límite Plástico (wp).
3- Límite de Contracción (wc).

La FIG. II, muestra cómo pueden definirse cada uno de estos límites, así mismo muestra una relación entre la Resistencia del suelo y sus estados de consistencia, a medida que se incrementa el contenido de agua (%w) del mismo.

La A.S.T.M. D-4318 define éstos límites, de la siguiente manera:

El valor de la Gravedad Específica, queda expresado por un número abstracto. Este valor además de servir para fines de clasificación, interviene en la mayoría de los cálculos de Mecánica de Suelos.

Para su determinación se hace uso de matraces calibrados a distintas temperaturas. La Gravedad Específica de los suelos varía comúnmente entre los siguientes valores :

Cenizas Volcánicas	2.20 - 2.50
Suelos Orgánicos	2.50 - 2.65
Arenas y Gravas	2.65 - 2.67
Limos inorgánicos y guijarros arcillosos	2.67 - 2.72
Arcillas Poco plásticas y de media plasticidad	2.72 - 2.78
Arcillas de media plasticidad y alta plasticidad	2.78 - 2.84

1.1.4 RESISTENCIA AL DESGASTE

Los materiales a usarse en la construcción de carreteras deben ser duros y resistentes al desgaste ocasionado por el efecto mecánico de pulición de el tráfico y los efectos abrasivos internos de cargas repetitivas.

La medida más común de la dureza en los agregados, es la prueba de ABRASIÓN UTILIZANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES. Este ensayo nos permite tener una idea, de la forma en que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la Abrasión causados por el tráfico.

1.1.5 RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD (Compactación de Suelos)

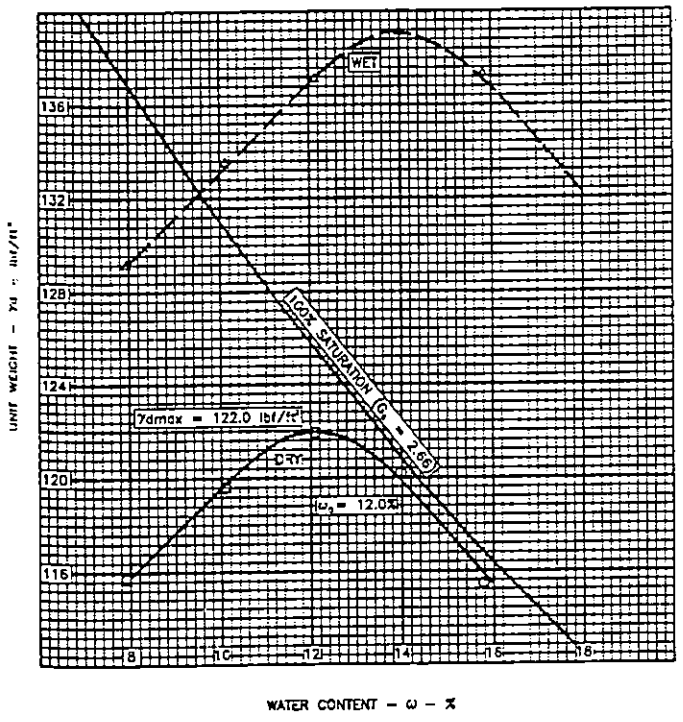
Se entiende por compactación todo proceso que aumente el peso volumétrico de un material granular. En general, es conveniente compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y disminuir su permeabilidad.

El acomodo de las partículas, en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo que se usó para compactarlo, sino fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Si las partículas están secas, la fricción intergranular opone una mayor resistencia al desplazamiento relativo entre ellas, que si se encuentran lubricadas por una película de agua; por el contrario, si la masa tiene una humedad elevada, el agua llena vacíos que podrían ser ocupados por partículas en un arreglo más denso haciendo decrecer la resistencia. Esto último es cierto en suelos que tienen un alto porcentaje e finos y no en las arenas gruesas y gravas. Por lo tanto, dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de agua con el que se obtiene el máximo Peso Volumétrico que correspondera a la máxima resistencia que el suelo puede alcanzar.

Así por lo tanto el fin último de realizar una compactación es el poder mejorar las propiedades mecánicas (resistencia, permeabilidad y compresibilidad) del suelo sobre el cual estará sustentada una estructura (pavimento).

Esta compactación podrá ser comparada con la ideal obtenida en el laboratorio, de la cual se obtendrá el Peso Volumétrico Seco Máximo ($\Gamma_{dmáx}$) y el Contenido de Agua Optimo (w_{opt}) de un suelo en particular, a través de una gráfica cuya forma se presenta en la GRÁFICA 2.1.

Dicha comparación se realiza dividiendo el Peso Volumétrico de Campo por Peso Volumétrico Máximo de laboratorio y multiplicando este cociente por cien. Al resultado de esta relación se le llama GRADO DE COMPACTACIÓN (GC).



GRÁFICA 2.1 Ejemplo de Curva de Compactación. La curva superior para Pesos Volumétricos Húmedos y la inferior para Pesos Volumétricos Secos

La prueba proporciona valores que en general corresponden a los pesos volumétricos máximos que pueden obtenerse en el campo, trabajando con los equipos usuales (rodillos lisos vibratorios y pata de cabra), siempre que, en cada caso, se ajuste empíricamente al espesor de la capa de material al número de pasadas del equipo de compactación.

1.1.6 C.B.R

La Capacidad Soporte de un suelo se puede cuantificar aproximadamente a través del método de ensayo denominado CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO). Este método fue propuesto en 1929 por los Ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter, del Departamento de Carreteras del Estado de California.

En este método se establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para pavimentos.

Dado que el comportamiento de los suelos, varía de acuerdo con su grado de alteración, con su granulometría y sus características físicas, el método a seguir para determinar el CBR, será diferente en cada caso. Así tendremos:

a. CBR en suelos perturbados y remoldeados.
b. CBR en gravas y arenas.
c. CBR en suelos no cohesivos, no expansivos..
d. CBR en suelos cohesivos y expansivos.
e. CBR en suelos inalterados.
f. CBR In - Situ.

El procedimiento "a" es el más común y el que se requiere un mayor control de laboratorio.

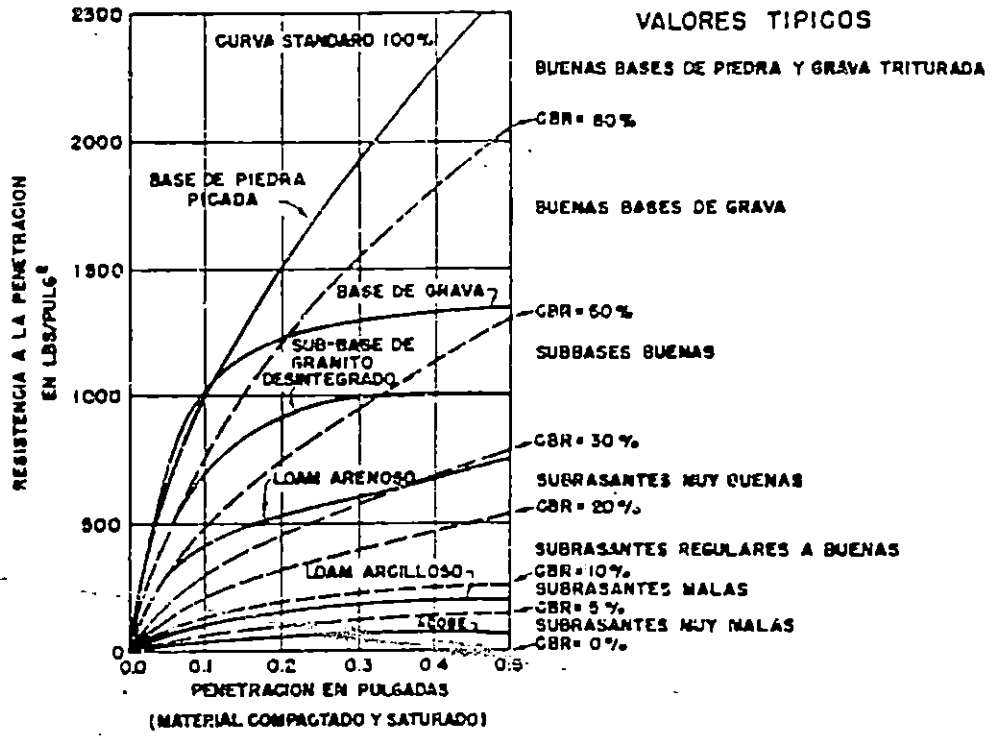
Para determinar el CBR, hace necesario hacer una relación de esfuerzos normales, entre un ESFUERZO DE REFERENCIA y un ESFUERZO DE ENSAYO.

Este ESFUERZO NORMAL DE REFERENCIA se obtiene de la curva Esfuerzo vrs Penetración para un material de base de piedra triturada. Esta curva tiene la forma que se muestra en la GRÁFICA.2.2, y puede dibujarse a partir de los siguientes valores :

PENETRACION (pul)	ESFUERZO (PSI)
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

Normalmente el esfuerzo que se escoge como referencia, es el correspondiente a 0.1 pulgada de penetración (1000 PSI). La relación entre un esfuerzo de prueba y el esfuerzo patrón, por cien, dará como resultado el CBR del suelo ensayado.

Las " lecturas de carga" tomadas durante el ensayo de penetraciones, reducidas a cargas unitarias, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas, en la forma indicada en la GRÁFICA 2.2



GRÁFICA.2.2 Curvas Esfuerzo-Penetración CBR para distintos materiales. La base de piedra triturada es la curva patrón. Fuente : Carreteras, Calles y Aeropistas, Valle Rodas, Raúl.

El CBR DE UN SUELO ES LA CARGA UNITARIA (ESFUERZO) CORRESPONDIENTE A 0.1" ó 0.2" DE PENETRACION, EXPRESADO EN PORCIENTO DE SU RESPECTIVO " VALOR ESTÁNDAR" (1000 PSI)

Por lo tanto el valor CBR de un suelo podrá ser usado, como un parámetro indicador de la resistencia a la penetración que presentará un suelo bajo condiciones de trabajo desfavorables.

Existen valores límites de CBR que un material debe reflejar para poder ser utilizados como parte de un pavimento. Estos valores se presentan en la TABLA 7.1, del ensayo N°7.

1.1.7 EQUIVALENTE DE ARENA EN SUELOS

La limpieza y pureza de los suelos y áridos, suelen determinarse a veces por observación visual, pero un cribado por vía húmeda proporciona en todos los casos una prueba positiva. Son materiales recusables la vegetación, pizarra, partículas blandas, masas de arcilla y revestimiento de arcilla de las partículas gruesas.

El ensayo de Equivalente de Arena ha obtenido gran popularidad como medio de descubrir el exceso de arcilla en lo áridos, principalmente. En efecto este ensayo, es un medio rápido para separar las partículas más finas arcillosas de los granos más gruesos o arena. Las proporciones relativas de los dos tipos de material se comparan volumétricamente de un modo arbitrario por un procedimiento que tiende a ampliar el volumen de arcilla en proporción a sus efectos perjudiciales.

ENSAYO N°1 PRACTICA PARA MUESTREO DE AGREGADOS

REFERENCIA ASTM D 75 - 87

AASHTO T 2 - 91

1. ALCANCES

Esta práctica cubre el muestreo de agregados gruesos y finos para los siguientes propósitos:

1.1 Investigar preliminarmente el potencial de las fuentes de abastecimientos o bancos de préstamo.

1.2 Control de lo que se produce en los bancos de préstamo.

1.3 Control de las operaciones de producción en el sitio de los bancos de préstamo.

1.4 Aceptación o rechazo de los materiales que se pretenden utilizar.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 702-87 Práctica para reducir muestras de agregados en el campo .

E 141-86 Práctica recomendada para la aceptación de evidencias basadas en los resultados de muestreos probabísticos.

3. SIGNIFICADO Y USO

La cantidad de material que constituye una muestra debe ser suficiente para realizar todas las pruebas de laboratorio y aún repetir las incorrectas o aquellas cuyos resultados sean dudosos.

Una muestra obtenida en el campo puede repartirse de acuerdo a las necesidades de ensayo que se tengan. Debe tenerse cuidado que la muestra llevada al laboratorio cumpla con los requerimientos de ensayo, esto es, la muestra llevada al laboratorio debe reflejar en lo mas posible las condiciones reales de campo, aún más, cuando los ensayos a realizar con ella, sean para determinar las propiedades mecánicas del suelo a usar. Si el material no contiene gravas en un porcentaje mayor al 30% conviene formar muestras de 40 a 50 kg. Caso contrario deberá duplicarse la remesa y cuando se trate de estudios especiales, el laboratorio indicará la cantidad necesaria.

El muestreo es igualmente importante como el ensayo. Debido a esto, los encargados del muestreo deberán tomar cada una de las precauciones para obtener muestras que sean representativas de la naturaleza y condiciones de los materiales, en las fuentes de abastecimientos.

Las responsabilidades en la obtención de muestras podrán ser las siguientes:

a. Las muestras para la realización de ensayos de la investigación preliminar, deberán ser obtenidas por parte del responsable de la explotación del potencial de la fuente.

b. Las muestras de los materiales para el control de lo producido en la fuente o para el control de los mismos en el sitio de trabajo, deberán ser obtenidas por el Contratista u otras personas encargadas de desarrollar el trabajo(subcontratados)

c. Las muestras para el control de los materiales utilizados en el sitio de trabajo, deberán ser obtenidas por el Supervisor.

4. DEFINICIONES

4.1 Muestreo

Es la actividad de campo realizada por el personal de laboratorio, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales, con los cuales se pretende construir una estructura (Pavimento), procediendo de tal manera que las características de la o las porciones obtenidas, permitan hacer una evaluación lo mas real posible, del conjunto que representan.

5. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

5.1 Palas manuales cuadradas
5.2 Cuchara de albañil de 6 ó 7 pulgadas.
5.3 Lona gruesa de 2 x 2 m.
5.4 Bandejas de lámina de 3 x 2 x 0.30 m y 1.5 x 1.5 x 0.30 m
5.5 Cinta métrica de 3 y 30 m
5.6 Sacos de Polipropileno
5.7 Carretilla manual
5.8 Cuñas de madera con un extremo ovalado.
5.9 Etiquetas para identificación
5.10 Misceláneo
Pitas de enequén, lapiceros, bolsas plásticas de 15 lb, brocha de 4".

6. CONFIANZA EN EL MUESTREO.

Donde se pueda practicar, las muestras a ser ensayadas para determinar la calidad de los agregados deberá ser obtenida de la producción final. Cuando se pretenda utilizara las

muestras para determinar el Desgaste por Abrasión, no deberán estar sujetas a quebraduras ni reducciones manuales en el tamaño de las partículas preparadas para la prueba de Desgaste, a menos que el tamaño del producto final es tal que requiera que se aplique una amplia reducción para propósitos del ensayo.

7. PROCEDIMIENTO

El muestreo para agregados, puede ser realizado en distintos puntos del lugar de explotación de la fuente o banco de préstamo. Así, los materiales a muestrear pueden ser obtenidos de los siguientes puntos o localizaciones :

7.1 En la descarga del flujo de agregados (Bines o Banda transportadora)

Se debe seleccionar de la producción de agregados, por lo menos tres unidades o porciones de materiales, con el fin de extraer de éstas, la Muestra de Campo. Estas tres unidades deberán tomarse, utilizando un método aleatorio, para lo cual será necesario utilizar equipo especial, el cual se describe en la Sección 5. Este método consiste en interceptar con la bandeja de lámina de 1.5 x 1.5 m , la descarga de agregados en los bines o en la Banda Transportadora. La bandeja deberá proveerse de un soporte que le permita resistir la caída de los agregados dentro de ella.

Durante esta operación no debe producirse derramamiento de los materiales hacia fuera de la bandeja.

El tamaño de la muestra de campo puede exceder o ser igual a las cantidades mostradas en la TABLA 1.1, las cuales estan en función del tamaño máximo nominal de los agregados que poseen.

En lo posible, los bines deben mantenerse continuamente llenos, para disminuir la segregación dentro de los mismos.

TABLA 1.1 Tamaño de la muestra de campo según el Tamaño Nominal Máximo de las partículas. FUENTE : ASTM ANNUAL BOOK, VOL.04.08, 1990. D 75-82

Tamaño Máximo Nominal de agregados. pul (mm)	Peso mínimo aproximado de la muestra obtenida en el campo. lb (kg)
Agregado Fino	
N°8 (2.36)	25 (10)
N° 4 (4.75)	25 (10)
Agregado Grueso	
3/8 (9.5)	25 (10)
1/2 (12.5)	35 (15)
3/4 (19.0)	55 (25)
1 (25.0)	110 (50)
1 1/2 (37.5)	165 (75)
2 (50.0)	220 (100)
2 1/2 (63)	275 (125)
3 (75)	330 (150)
31/2 (90)	385 (175)

7.2 De la Banda Transportadora

Se debe seleccionar de la producción de agregados, por lo menos tres unidades o porciones de materiales, con el fin de extraer de éstas, la Muestra de Campo. Estas tres unidades deberán tomarse, utilizando un método aleatorio, para lo cual será necesario utilizar equipo especial, el cual se describe en la Sección 5. Detener la Banda en forma aleatoria, mientras se obtienen cada una de las porciones que se combinarán para obtener la Muestra de Campo. Introducir dos cuñas de madera, cuya forma debe estar de acuerdo con la forma que la banda adopta cuando se encuentran los agregados sobre ella. Cada una de las porciones consideradas, deberán estar espaciadas de tal forma de asegurar que de las tres porciones de agregados, se podrá obtener una Muestra de Campo completamente representativa. Recoger cuidadosamente todo el material que está entre las cuñas y colocarlo dentro de un recipiente adecuado, teniendo cuidado de no dejar los finos que están adheridos a la banda, utilizando la brocha de 4" para reunirlos y

recogiéndolos utilizando la cuchara de albañil. Estos finos tienen que ser incorporados a cada una de las porciones a que pertenecen.

7.3 De los Acopios o Unidades de Transportación.

Siempre que sea posible, se debe evitar muestrear agregados gruesos o mezclas de agregados gruesos y finos proveniente de los acopios o unidades de transportación, particularmente cuando el muestreo es hecho para propósitos de determinar las propiedades de los agregados que dependen de la gradación de los mismos. Si se hace circunstancialmente necesario el recoger las muestras de estas localizaciones, se tendrá que diseñar un plan de muestreo para los casos específicos bajo consideración. Este plan de muestreo deberá incluir las recomendaciones en cuanto a que , los resultados obtenidos sean confidencialmente manejados por el Laboratorio de la Supervisión, hasta que todas las partes involucradas en una situación particular, así lo acuerden. El plan de muestreo deberá definir el número de muestras necesarias según el tamaño de los lotes o sub-lotes de tamaños en existencia. Los principios generales para el muestreo de agregados a partir de los acopios son aplicables a muestreos en camiones, bagones, carruajes de rieles u otros unidades de transportación.

Si el lector se ve en la necesidad de muestrear de estas localizaciones, podrá seguir el procedimiento descrito en el Apéndice de la especificación ASTM D 75 -87.

7.4 De la ruta del camino (Bases y Subbases)

El tamaño de la muestra de campo puede exceder o ser igual a las cantidades mostradas en la TABLA 1.1, en la cual estas se muestran, en función del tamaño máximo nominal de los agregados.

Deberán tomarse los materiales considerándolos de la profundidad total del sondeo o pozo elaborado, excluyendo cualquier sobre capa de material existente (material orgánico).

8. NUMERO Y PESO DE LAS MUESTRAS

El número de muestras de campo (obtenidas de cualquiera de los puntos antes mencionados) requeridas, depende de lo critico, la variación y las propiedades a ser medidas en los agregados.

El número de muestras de campo provenientes de la producción, deberá ser suficiente para proporcionar la confidencia necesaria en los resultados de los ensayos realizados.

El peso de las muestras de campo mostrados en la TABLA 1.1 son tentativos. Lo que realmente definirá el peso de la muestra de campo será el número y tipo de ensayos a realizar con las mismas en el laboratorio.

9. MANEJO DE LAS MUESTRAS

El transporte de las muestras de campo, deberá realizarse en sacos u otro tipo de recipiente, los cuales no deben permitir que durante el transporte, estas pierdan peso, humedad y mucho menos que se contaminen. Si la muestra transportada es del tipo inalterada, deberá proveerse de un recipiente con algún material que amortigüe el golpeteo durante el mismo. Esto evitará que la muestra se dañe y que pierda sus características naturales.

10. COMENTARIOS

El ordenamiento y la representatividad de las muestras recogidas en el campo, desempeñan un papel importante en la calidad de los resultados obtenidos, ya que no se podrá hablar de resultados fidedignos cuando ha existido confusión en la identificación de las muestras, ni mucho menos cuando la forma de obtener las mismas, ha conllevado a resultados que no concuerdan, con lo que a experiencia del Ingeniero o de quien desarrolla el ensayo respectivo, tendría que obtenerse. Así los siguiente comentarios ayudarán a reducir las incertidumbres y a aumentar la confiabilidad del resultado obtenido en un ensayo específico .

1. En el caso de que las muestras recogidas sean de pozos a cielo abierto, la identificación de la muestra deberá consistir en aspectos importantes como lo son, el nombre del proyecto, el estacionamiento, la profundidad, número de la muestra y el número del sondeo a que pertenece. Si los agregados son obtenidos de la planta de producción, deberán incluirse el nombre del proyecto, el número y/o nombre del acopio, número de la muestra, hora de muestreo.

2. Cuando se muestrean materiales triturados en la planta de producción, si se muestrea del cono de producción, debe tenerse cuidado en no considerar agregados que se encuentren localizados en la parte baja del mismo, ya que generalmente en estas localizaciones se encuentran segregadas las partículas de mayor tamaño en la producción. De muestrearse el cono de producción, es aconsejable hacerlo de la parte media del mismo, considerando para un cuarteo manual de campo, varias porciones tomadas de distintas posiciones de esta misma parte.

3. Es práctica común, que si se muestrea del acopio de la planta de producción, se realice antes un planchado del mismo, la muestra será elegida de un cuarteo manual de varias porciones consideradas del área planchada por el cargador que opera en la planta.

4. Cuando se muestrea en pozo a cielo abierto (PCA), debe tenerse cuidado de muestrear cada estrato presente, tanto de su parte superior como de la inferior. En caso que el espesor del mismo sea muy grande (> 1.0 m), el muestreo debe realizarse cada 0.50 m.

5. Cuando se muestrea en PCA, deberá colocársele a cada muestra, su identificación de campo, asignándole sus símbolos genéricos, color, olor (si existe contaminación) y otras características visibles con las cuales se pueda tener una idea completa del suelo recolectado.

ENSAYO N°2 **GRANULOMETRIA DE SUELOS CON FINOS QUE PASAN LA MALLA N°200.**

REFERENCIAS **AASHTO** **T 11 - 91**
ASTM **C 117-90**

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación de la granulometría de suelos que contienen partículas que pasan la malla N°200, utilizando agua para lavar la muestra de suelo a través de esta malla y crivando mecánicamente el retenido en estado seco para lo cual se utiliza un agitador mecánico durante un tiempo estimado, que normalmente es de 15 minutos.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 136-84a Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
D 75 - 87 Muestreo de agregados

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 27-93 Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
T 2-91 Muestreo de agregados

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de suelo es lavada a través de la malla N°200, utilizando agua potable. Se decanta el agua de lavado sobre dicha malla para permitir que la muestra se lave gradualmente. Se dice que la muestra esta lavada cuando el agua pasa a través de la malla completamente limpia. Se seca la muestra al horno por 18 a 24 hrs a 105°C, para proceder luego al tamizado mecánico utilizando las mallas indicadas en la sección del equipo de este Ensayo.

4. SIGNIFICADO Y USO

Cuando se lava el material grueso por la malla N°200, el material fino adherido a estas partículas gruesas y que es menor que dicha malla, es separado más eficiente y completamente. Por lo tanto este método debe ser usado, cuando se requiera más exactitud en la determinación del material más fino que la malla N°200, contenido en materiales finos y/o gruesos.

Este método es usado en muestras previamente secadas, para tamizarlas de acuerdo con el ensayo ASTM C 136. Los resultados obtenidos son incluidos en el cálculo del ensayo N°9 de este manual (ASTM C 136), en cuyo caso, el total de la cantidad de material más fino que la malla 200, será la suma de lo obtenido por lavado y lo obtenido por tamizado, sobre la misma muestra. Usualmente la cantidad adicional de finos obtenidos en el proceso de tamizado en seco, es muy pequeña. Si es muy larga, la eficiencia del proceso de lavado debe revisarse. Esto también puede indicar que ha existido una degradación del material de la muestra ensayada. En algunos casos, el material muy fino, adherido a las partículas gruesas, son recubrimientos de arcillas y recubrimientos sobre agregados que han sido extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino deberá ser separado más rápidamente con un agente especial aplicado al agua.

5. DEFINICIONES

5.1 GRANULOMETRIA

Es el proceso mediante el cual se determina la distribución de los tamaños de granos que componen un suelo (ASTM D-653-86).

5.2 GRADACIÓN

Es la forma en que una masa de suelo o fragmentos de roca se encuentran distribuidos proporcionalmente en rangos de tamaños especificados (ASTM D-653- 86).

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 Balanza de 2610 g. de capacidad con 0.1g de aproximación.

6.2 Juego de mallas: 3", 3/4", N°4, N°10, N°40, N°200, fondo y tapadera.

6.3 Recipiente contenedor para lavado de la muestra de ensayo.

6.4 Horno eléctrico con capacidad para 110°C.

6.5 Misceláneo : Guantes de asbesto, espátula con hoja de 3" de largo, brocha para limpieza de mallas.

7. MUESTREO

La muestra de suelo deberá ser representativa obtenida de un cuarteo manual o usando cuarteador mecánico.

El peso mínimo de esta muestra será en base al tamaño máximo nominal presente en la masa de suelo y estará de acuerdo con la siguiente TABLA 2.1

TABLA 2.1 Peso mínimo de la muestra de ensayo, para determinar la Granulometría de suelos con finos que pasan la malla N°200.
FUENTE : ASTM ANNUAL BOOK, 1990, VOL.04.03, C 117-87

Tamaño Nominal Máximo	Peso mínimo de la muestra, g
2.36 mm (N°8)	100
4.75 mm (N°4)	500
9.50 mm (3/8")	1000
19.00 mm (3/4")	2500
37.5 mm (1 1/2") o mayores	5000

8. PROCEDIMIENTO

8.1 La muestra de ensayo deberá estar seca, para lo cual se requiere que la porción de material de donde será obtenida aquella, se seque al horno hasta peso constante, por un período de 18 a 24 h, a una temperatura de 105 ± 5°C.

8.2 Transcurrido este tiempo, se deja enfriar a temperatura ambiente y luego se cuartea esta porción atendiendo la recomendación de la TABLA 2.1, para obtener la muestra de ensayo. Registrar este peso como P1.

8.3 Obtenida la muestra de ensayo, se deposita en el recipiente contenedor para lavado. Se agrega agua potable dentro de este recipiente y se remueve manualmente el suelo para facilitar el desprendimiento de los finos.

8.4 Se decanta el recipiente sobre la malla N°200 de tal forma que el agua enturbiada por los finos desprendidos, pase a través de ésta . Agregar más agua dentro del recipiente y volver a remover el suelo para lograr nuevamente que los finos se pongan en suspensión. Si en la malla se a retenido mucho material, se procede a lavar únicamente éste, agregando agua directamente sobre ésta y

En donde :

%RP :	Porcentaje Retenido Parcial para cada malla.
%RA :	Porcentaje Retenido Acumulado para cada malla.
%PASA:	Porcentaje que pasa por cada malla.
i :	N° de casilla donde se calcula el %PASA.
n + i :	N° de casilla anterior a la "i".
f1 :	Factor constante.

9.3 Dibujar la curva granulométrica en papel semilogarítmico (Abscisas = Abertura de mallas y Ordenadas= Porcentajes que pasan)

9.4 Calcular los Coeficientes de Uniformidad y Curvatura mediante las siguientes Ecuaciones.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \qquad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \qquad \text{.... (Ec.2.7 y 2.8)}$$

En base a estos valores se podrá determinar la clasificación granulométrica del suelo, haciendo uso de la siguiente TABLA 2.2

TABLA 2.2 Valores de Cu y Cc para clasificación de suelos en las categorías de bien o mal graduado. FUENTE : ASTM ANNUAL BOOK, VOL. 04.08 D 2487-85

TIPO DE SUELO	GRAVAS	ARENAS
Bien Graduado	Cu > 4 1 < Cc < 3	Cc > 6 1 < Cc < 3
Mal Graduado	Cu < 4 3 < Cc < 1	Cu < 6 3 < Cc < 1

10. INFORME

Además de los datos generales sobre el material ensayado se deberá incluir en el informe de laboratorio, la siguiente información :

10.1 Porcentaje que pasa cada malla.
10.2 Curva Granulométrica
10.3 Valores de los coeficientes Cu y Cc.
10.4 Clasificación Granulométrica
10.5 Tamaño máximo de las partículas.
10.6 Forma de las partículas (Redondas o angulares).
10.7 Dureza de las partículas :
   a. Duras y Durables.
   b. Suaves.
   c. Intemperizadas y desmenuzables.
10.8 Gravedad Específica del suelo.

11. COMENTARIOS

11.1 Del proceso de ensayo

a. Durante el lavado debe ser utilizada agua clara, de tal forma de que al final del lavado no pueda existir duda sobre la claridad de la misma

b. Este ensayo puede ser utilizado para determinar la porción de materiales más finos que la malla N°200, cuando estos se pretendan utilizar como materiales de sub-rasante, sub-base o base de un pavimento.

c. No deberán permitirse errores porcentuales mayores de 0.5% respecto al peso seco de la muestra inicial de ensayo.

11.2 De la utilidad de la granulometría

a. Los sistemas de clasificación de suelos utilizados internacionalmente, consideran como dato de entrada, para la clasificación de un suelo, los porcentajes de material que pasan las mallas N°200, N°40 y N°4.

b. La granulometría de un suelo es una propiedad índice, que puede ser considerada para decidir la adaptabilidad de un suelo, como material para un trabajo específico, es decir, al considerar los valores de algunos diámetros de las partículas que lo constituyen. Por ejemplo el D10 (Diámetro efectivo), utilizado para evaluar la Permeabilidad del suelo, a través de la Ec. 2.9, la cual tiene la forma siguiente :

$$K = C \times (D10)^2 \qquad \text{(Ec. 2.9)}$$

Esta ecuación fue propuesta por Allen Hazen (1892) en la cual "C" es una constante; que puede variar asi 41< c <146, tomándose para cálculos un promedio aceptable igual a c=116, sus unidades son 1/(cmxseg).
El valor de D10 introducido en la formula de Hazen, debe usarse en cms.

La TABLA 2.3 muestra las distintas clasificaciones de un suelo en función del valor de su Coeficiente de Permeabilidad, K.

TABLA 2.3 Tabla que muestra los valores típicos de la Permeabilidad para diferentes tipos de suelos. Fuente : Essentials of Soil Mechanics and Foundations, David F. McCarthy, P.E.,1977
Imperceptible = Inapreciable
Franca = Bastante

TIPO DE SUELO	GRADO RELATIVO DE PERMEABILIDAD	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K) (cm/s)	PROPIEDADES DE DRENAJE
Grava limpia	Alto	1-10	Buenas
Arena limpia	Medio	$1\text{-}10^{-3}$	Buenas
Grava arenosa	Medio	$1\text{-}10^{-3}$	Buenas
Arena fina	Bajo	$10^{-3}\text{-}10^{-5}$	Franca a Pobre
Limos	Bajo	$10^{-3}\text{-}10^{-5}$	Franca a Pobre
Arena limo arcillosa	Muy bajo	$10^{-4}\text{-}10^{-7}$	Pobre a prácticamente imperceptible
Arcillas homogéneas	Muy bajo a prácticamente impermeable	$< 10^{-7}$	Prácticamente imperceptible

c. La granulometría como una propiedad índice, también se puede utilizar para medir la Resistencia y Deformación de una masa de suelo, ya que un suelo bien graduado (buena granulometría) tendrá mayor resistencia que otro mal graduado (granulometría uniforme). Un suelo con baja resistencia, se deformará más que otro que posea alta resistencia.

d. Se considera que un suelo esta granulométricamente bien graduado cuando ambos valores de Cu y Cc, cumplen con los requerimientos especificados en la TABLA 2.2 de este ensayo. El no cumplimiento de cualquiera de los dos valores (Cu o Cc), conlleva a que el suelo se clasifique como MAL GRADUADO.

ENSAYO N°3 **LIMITES DE CONSISTENCIA DE SUELOS**

REFERENCIAS : **ASTM D 4318-84**
ASTM D 427-83
AASHTO T 89-93 (wl)
AASHTO T 90-93 (wp)
AASHTO T 92-88 (wc)

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación del Límite Líquido, Límite Plástico, Indice de Plasticidad y Límite de Contracción de suelos.

Se incluyen en este ensayo los métodos Multipuntos y de Un Punto para determinar el Límite Líquido de los suelos, utilizando una preparación húmeda de la muestra.

El Límite de Contracción cubierto por este método únicamente es aplicable a suelos de grano fino cohesivos los cuales experimentan esfuerzos de contracción cuando son secados al aire.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 702-87	Práctica para muestreo en campo de agregados para ensayo granulométrico.
D 75 -87	Práctica para muestreo de agregados.
D 1241-68	Especificaciones para materiales de Base, Sub-base y Superficie Granular.
D 2216-80	Determinación del Contenido de Agua de un suelo.
D 2487-85	Clasificación de suelos para propósitos ingenieríles.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de suelo seco es procesada para eliminar de ella las partículas mayores que la malla No.40 (0.425mm). Esta es remojada de tal forma que su consistencia sea la de una masilla :

3.1 Límite Líquido (wl)

El Límite Líquido es determinado mediante ensayos, en los cuales una porción de la muestra, es colocada dentro de un recipiente de bronce (Copa de Casagrande) incorparado a un aparato provisto de una leva excéntrica que permitirá golpear a la copa contra su base a razón de 2 golpes/seg. Antes de iniciar el golpeteo, la muestra es dividida en dos partes aproximadamente iguales, utilizando una herramienta ranuradora de dimensiones especificadas.

Debe anotarse el número de golpes (N) para el cual la ranura de la muestra ensayada se cerró en una longitud aproximada de 13 mm (1/2"), en su base.

El Método Multipuntos requiere de por lo menos tres (3) ensayos en la Copa de Casagrande, siendo necesario obtener cinco (5) cuando el operador del ensayo no tiene la suficiente experiencia, en la ejecución del mismo.

El Método de Un Punto(I) se desarrolla mediante la obtención de dos (2) ensayos en la Copa de Casagrande.

3.2 Límite Plástico (wp)

El Límite Plástico se determina haciendo "rollitos" de suelo con una porción del mismo, el cual se lleva hasta un diámetro aproximado de 1/8 pul.(3.2mm), en cuyo valor el material comienza a experimentar agrietamientos.

El promedio de las humedades de tres porciones del material agretado, será el valor del Límite Plástico.

3.3 Límite de Contracción (wc)

Una muestra húmeda, cuya consistencia sea cercana a su Límite Líquido, es colocada dentro de una cápsula de monel metálica de volumen conocido, se somete a secado ambiental por 24 h., luego al horno (18 a 24 hr., 105°C) hasta obtener un peso seco constante, después de lo cual se determina su volumen, utilizando Mercurio (Metal Líquido con Densidad de 13.56 g/cm^3).

4. SIGNIFICADO Y USO.

La cantidad de agua que posea un suelo a utilizar puede ser un factor determinante para la durabilidad de los pavimentos a construir, así los materiales que tengan plasticidad no podrán ser usados para estos propósitos, ya que son sensibles a los cambios de humedad, factor que es muy frecuente en este tipo de obra civil. Por otro lado, el uso básico de este ensayo será el utilizar el resultado del mismo, para propósitos de clasificación del suelo ensayado.

El Límite de Contracción, expresado como un contenido de agua en porciento, es típicamente asumido para representar la cantidad de agua requerida para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, el cual ha sido reducido a su mínima relación de vacíos mediante el secado (usualmente al horno). Así, el concepto de Límite de Contracción puede ser utilizado para evaluar el potencial de contracción, que pueda tener un suelo y experimentar grietas una vez que ha sido colocado como parte de una

cimentación. Por otro lado los datos obtenidos de este ensayo pueden ser utilizados para calcular la Contracción Lineal y Volumétrica de los suelos finos cohesivos.

Los Límites de Consistencia pueden ser usados individualmente o junto con otras propiedades del suelo para determinar características como la Compresibilidad, Permeabilidad y Compacidad.

5. DEFINICIONES

5.1 PLASTICIDAD

Es otra de las características del suelo fino que se modifica con el contenido de agua y se define como la propiedad que tiene un material(suelo) de deformarse, sin cambiar su volumen ni agrietarse o desmoronarse.

5.2 CONSISTENCIA

Es la relativa facilidad con la que un suelo puede deformarse.

5.3 ESTADO LIQUIDO

Estado en el cual el suelo, debido a su contenido de agua, se presenta con las características y propiedades de una suspensión.

5.4 ESTADO PLÁSTICO

Estado en el cual el suelo, debido a su contenido de agua se comporta plasticamente.

5.5 ESTADO SEMISOLIDO

Estado en el cual el suelo tiene la apariencia de un sólido pero aún disminuye su volumen al estar sujeto a secado.

5.6 ESTADO SOLIDO

Estado que presenta un suelo cuando el volumen no varía con el secado.

5.7 RESISTENCIA

Medida de la capacidad que tiene un material (suelo) de soportar deformaciones o esfuerzos.

5.8 LIMITE LIQUIDO (wl)

Es el contenido de agua expresado en porciento de un suelo, establecido arbitrariamente, como la frontera entre su estado líquido y su estado plástico.

5.9 LIMITE PLÁSTICO (wp)

Es el contenido de agua expresado en porciento de un suelo, establecido arbitrariamente como la frontera entre su estado plástico y su estado semisólido.

5.10 LIMITE DE CONTRACCIÓN (wc)

Es el máximo contenido de agua, en el cual una reducción no causa decrementos al volumen de la masa del suelo ensayado.

6. EQUIPO

6.1 Aparato para Límite Líquido.
Su copa es de bronce suspendida de un carruaje diseñado para controlar la caída de esta sobre una base de goma elástica dura (Lucita).La operación de este aparato puede ser manual o motorizado (Ver FIG. 3.1).

6.2 Herramienta de corte plana o trapezoidal, las cuales tienen las dimensiones y forma especificadas en ASTM D 4318-84 y AASHTO T 89-93 la cual puede estar hecha de plástico o metal no corrosivo como el acero inoxidable. Además esta herramienta debe estar provista de un calibrador para la altura de caída de la copa de Casagrande (Ver FIG. 3.1).

6.3 Balanza con capacidad de 310 g y aproximación de 0.01 g.

6.4 Horno eléctrico, con capacidad para proveer temperaturas de 110 ± 5°C.

6.5 Placa de PVC o Vidrio para Límite Plástico, con un área de 30 x 30 cm por 1.0 cm de altura.

6.6 Plato de evaporación de porcelana de 5 1/2" de diámetro.

6.7 Cápsula de monel metálica de 1 3/4" de diámetro y 1/2" de altura.

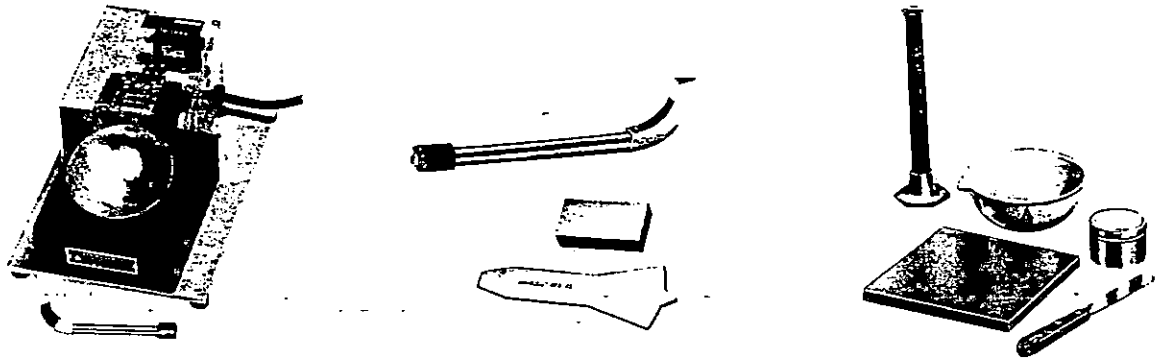
6.8 Cápsula de vidrio de 2 1/4" de diámetro y 1 1/4" de altura con orilla superior plana.

6.9 Placa enrasadora con tres púas para inmersión de la pastilla de suelo seco dentro del mercurio (Ver FIG 3.2)

6.10 Plato de vidrio plano de 6" de diámetro (conocidas como pailita de porcelana)

6.11 Equipo misceláneo.
Charolas circulares de aluminio o acero inoxidable de 5.0 cm de diámetro y 1.0 cm de altura, espátula con hoja de acero de 3.5" de longitud, plato desecador de porcelana, gotero plástico con boquilla, tamiz No.40 con fondo y tapadera, espátula con hoja de 3" de longitud.

6.12 Materiales.
Agua potable, Mercurio (Metal-Líquido) con Densidad de 13.56 gr/cm^3, papel higiénico y muestra de suelo.



(a) (b) (c)

FIG 3.1 (a) Copa de Casagrande para determinar el Límite Líquido. (b) Ranurador tipo estrella y tipo trapezoidal para determinar el Límite Líquido. c)Equipo para determinar el Límite Plástico .

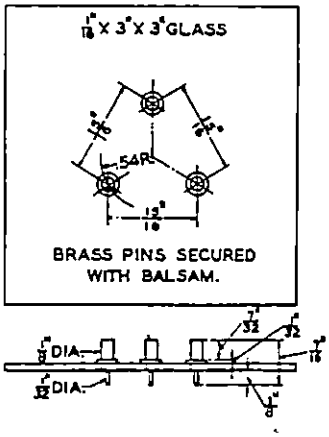


FIG. 3.2 Placa enrasadora de tres púas para inmersión de pastilla en mercurio.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 LIMITE LIQUIDO.

A. DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO (MÉTODO MULTIPUNTOS).

A.1 Preparación de la muestra.

La muestra traída del campo se seca al aire y luego se recoge para hacer sobre ésta un cuarteo del cual se tomará la muestra de ensayo. Del cuarteo se obtiene una porción de material capaz de obtener de ésta ± 500 g del material que pasa por la malla No.40. Dividir en dos partes iguales esta muestra de 500 g. Una porción servirá de reserva por si hay necesidad de verificar un punto.Humedecer en un plato desecador la muestra a ensayar de tal forma que ésta adquiera una consistencia parecida a la plastilina. Una tercera parte de ésta, se aparta para realizar el Límite Plástico.

A.2 Determinación del punto (N , W%) de entrada.

Revisar si la copa se encuentra seca, calibrada y limpia.

Se vierte una porción del material con consistencia plástica en la copa de Casagrande (Ver FIG. 3.3), acomodándola con la espátula de 3", de tal forma que la mayor altura del centro de percusión a la superficie de la muestra sea

aproximadamente de 1.0 cm. Realizar la ranura en esta muestra utilizando la herramienta adecuada (ranurador) para cada caso, esto es:

A.2.1 Para suelos arenosos, utilice el ranurador tipo estrella.
A.2.2 Para suelos finos (sin arena), utilice el ranurador trapezoidal.

Aplicar el golpeteo a la copa mediante la leva, a razón de 2 golpes por segundo. Si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura en 1/2" de su base, es mayor de 50 (N > 50), retirar la muestra de la copa, regresarla al plato desecador y agrégarle más agua para disminuir su consistencia. Repetir este proceso hasta que el N para cerrar la ranura en la manera antes descrita, esté en el rango de 40 a 50. Logrado esto se toma la muestra dentro de una charola de 5.0 cm de diámetro, se pesa este conjunto anotando este valor en la casilla correspondiente como Wch + sh.

NO OLVIDAR ANOTAR EL NÚMERO DE GOLPES EN LA CASILLA CORRESPONDIENTE.

A.3 Determinación de los puntos (N,W%).

Luego de haber determinado el punto No. 1, repetir el proceso por lo menos cuatro (4) veces más, aumentando en cada vez la cantidad de agua con la cual la muestra de suelo se ensaya en la copa de Casagrande. Por lo menos se deben obtener dos (2) puntos antes de 25 golpes y tres (3) después del mismo valor. En cada caso se registra el peso de la charola más el suelo húmedo en su casilla del cuadro de recolección de datos para Límite Líquido (Wch + sh)n.

Cuando ya se han obtenido los 5 puntos, se introducen al horno estas charolas con suelo húmedo y se someten a secado por 18 a 24 horas a una temperatura de 110 ± 5° C.

Transcurrido este tiempo se sacan del horno las charolas con el suelo seco, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se registra su peso seco (Wch+ss).

B. DETERMINACIÓN DEL LIMITE LIQUIDO (MÉTODO DE UN PUNTO).

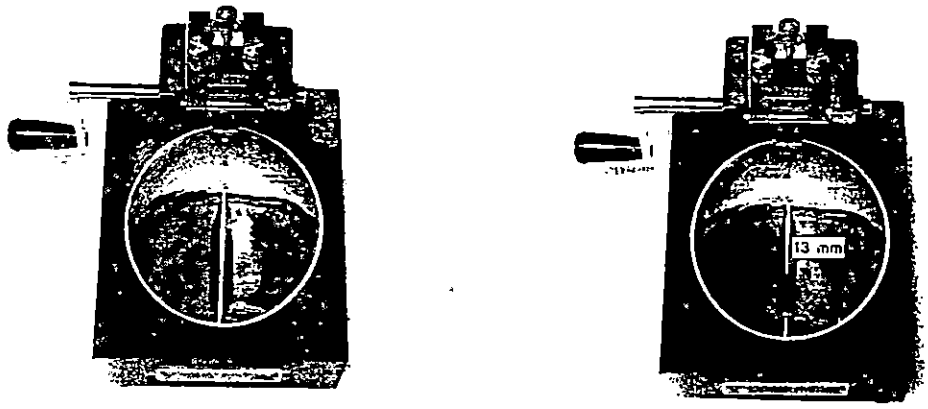
B.1 Preparación de la muestra.

Esta preparación es similar a la utilizada en el procedimiento anterior, con la diferencia de que el punto de entrada debe lograrse para un N que esté comprendido entre 20 y 30 golpes. Esto implica que la consistencia inicial de la muestra de ensayo será menor que la del caso anterior. El golpeteo también debe cuidarse que sea 2 golpes/seg.

Deben realizarse como mínimo dos (2) ensayos y debe cuidarse que en ambos el 20 < N < 30. No se olvide anotar el Número de golpes N, en la casilla correspondiente del cuadro de datos.

B.2 Secado de las muestras.

Cuando ya se han obtenido los 2 puntos, se registra su peso húmedo (W ch + sh) luego se introducen al horno estas charolas con suelo húmedo y se someten a secado por 18 a 24 horas a una temperatura de 110 ± 5° C. Transcurrido este tiempo se sacan del horno las charolas con el suelo seco, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se registra su peso seco (Wch + ss).



(a) (b)

FIG 3.3 a)Colocación de la muestra ranurada dentro de la copa de Casagrande. b)Muestra con ranura cerrada en su base (1/2" de cierre).

7.2. DETERMINACIÓN DEL LIMITE PLÁSTICO.

C.1 Preparación de la muestra.

Esta muestra ya se preparó durante el desarrollo del Límite Líquido, pero si, la consistencia que tiene la muestra entonces preparada, es parecida a una masilla, se procede a proporcionarle más consistencia secándola con papel periódico o agregando material seco.

C.2 Hechura de rollitos de 1/8" (3.2 mm)

Tomar entre las manos una pequeña porción de suelo humedecido y sobre la placa de vidrio o PVC, hasta que este material tome forma de rollito con un diámetro aproximado de 1/8" (3.2 mm). Aplique con la mano la fuerza necesaria para este fin. Si el material se agrieta antes de lograr este diámetro se deberá agregar agua a la muestra, en una pequeña cantidad, tal que no modifique grandemente la consistencia de la misma, luego habrá que homogenizar el agua en la muestra antes de volver a intentar el proceso de enrollado.

El suelo estará en el Límite Plástico cuando al hacer los rollitos, éstos se agrietan al tener un diámetro aproximado de 1/8" (3.2 mm). Trate la manera de que el rollito formado sea lo suficiente para poder obtener de él tres (3) porciones de suelo húmedo.

C.3 Secado de las muestras.

Una vez que se han logrado las tres muestras, se registra su peso húmedo en la casilla correspondiente del cuadro de datos para Límite Plástico y se procede a secar estas muestras en horno a temperatura de 110 ± 5° C durante 18 a 24 hrs.

Transcurrido este tiempo sacar las muestras secas del horno y déjelas que se enfríen a temperatura ambiente para obtener luego su peso seco.

Registrar estos pesos como W ch+ ss, en las casillas correspondientes del cuadro de datos.

NOTA: La varilla de comparación de 1/8" es usada solamente cuando el operador del ensayo no tiene la suficiente experiencia para detectar cuando el rollito tiene el diámetro mencionado.

7.3 DETERMINACIÓN DEL LIMITE DE CONTRACCIÓN

D.1 Llenar completamente (sin vacíos) la cápsula de monel con suelo cuya humedad sea cercana al límite líquido. Se deberá enrasar esta muestra haciendo uso de la espátula de 3". La cápsula de monel debe ser previamente pesada. Registrar el Peso de la Muestra Húmeda más la Cápsula de Monel como P1.

D.2 Dejar que la pastilla de suelo pierda humedad al aire, por 24 hrs. Luego que la pastilla se ha contraído por pérdida de humedad se procede a introducirla al horno por un período igual al anterior. (Ver FIG.3.4)

D.3 Transcurrido este tiempo (48 h), se pesa la pastilla en estado seco y se registrar el Peso de la Muestra Seca más la Cápsula de Monel como P2.

ANTES DE LA CONTRACCIÓN DESPUÉS DE LA CONTRACCIÓN

FIG. 3.4 Estados de la pastilla de suelo dentro de la cápsula de monel, antes y después de la contracción. En la situación (a) el Volumen Inicial de la pastilla es el volumen de la cápsula de monel.

D.4 Encontrar el Volumen de la cápsula de monel, utilizando el Mercurio. El Volumen será igual peso de mercurio enrasado (hacer uso de la placa con tres púas) dentro de la misma entre la Densidad del mismo (13.56 g/cm^3). Registrar este volumen como V1.

D.5 Enrasar la cápsula de vidrio de orilla plana, haciendo uso de la placa enrasadora de tres púas. El material sobrante en el plato de vidrio plano se guarda en su recipiente.

D.6 Colocar la pastilla seca sobre la superficie del Mercurio contenido en la cápsula de vidrio de orilla plana .

D.7 Cuidadosamente haciendo uso de la placa con tres púas, se procede a introducir esta pastilla dentro del mercurio. Se debe tener cuidado de apoyar concentricamente las púas del plato enrasador para que durante esta operación no se produzcan derramamientos de Mercurio adicionales, al que desplaza el volumen de la pastilla seca (Ver FIG.3.5).

D.8 Pesar la cantidad de Mercurio desplazado (Pd).
El Volumen contraído de la pastilla (V2) se encuentra dividiendo este peso (Pd) por la Densidad del Mercurio (13.56 g/cm^3). Registrar este volumen como V2 .

7.2 LIMITE LIQUIDO : MÉTODO DE UN PUNTO.

1. Calcular el Contenido de agua para cada una de las dos muestras ensayadas.

2. Determinar para cada caso el Límite Líquido, de la siguiente manera:

$$wl = Wi*(N/25)^{0.121} \qquad \text{(Ec.3.2)}$$

Donde: Wi = Contenido de agua de la prueba (en %).
N = Número de golpes.

3. Reportar el Límite Líquido (wl) como el promedio de los dos valores obtenidos a través de la expresión anterior.

7.3 LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD.

1. Calcular los contenidos de agua para cada porción obtenida.

2. Calcular el Límite Plástico (wp) como el promedio de los contenidos de agua obtenidos en el paso anterior, utilizando la siguiente ecuación :

$$wp = \frac{W\%1 + W\%2 + W\%3}{3} \qquad \text{(Ec.3.3)}$$

3. Calcular el Índice de Plasticidad (Ip) de la siguiente manera :

$$Ip = wl - wp \qquad \text{(Ec. 3.4)}$$

7.4 LIMITE DE CONTRACCIÓN

1. Calcular el Contenido de Agua Inicial de la pastilla,

$$\%Wi = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100 \qquad \text{(Ec. 3.5)}$$

2. Calcular el Peso Seco de la Pastilla (Ws).

$$Ws = P2 - Pcm \qquad \text{(Ec. 3.6)}$$

Pcm = Peso de la cápsula de monel

3. Calcular el Límite de Contracción

$$wc = \%Wi - \frac{[(V1 - V2) \times \Gamma w]}{Ws} \times 100 \qquad \text{(Ec.3.7)}$$

%Wi = Porcentaje de agua inicial
Γw= Peso específico del agua, g / cm^3

8. INFORME.

8.1 Identificación de la muestra de ensayo.
8.2 Forma de secado de la muestra traída del campo (al aire o con horno).
8.3 Los valores de wl, wp e Ip, aproximados a las décimas.
8.4 Si no se pudo determinar el wl o wp para el suelo en ensayo, debe reportársele como SUELO NO PLÁSTICO (NP).
8.5 Un valor estimado del porcentaje de muestra retenido en la malla No.40.
8.6 El procedimiento utilizado para determinar el wl si es que difiere del método Multipuntos.

En lo relativo al Límite de Contracción se deberá reportar lo siguiente :

8.7 El Contenido de Agua Inicial de la muestra
8.8 Período de tiempo necesario para el secado al aire.
8.9 Valor del Límite de Contracción

9. COMENTARIOS

9.1 Del proceso de ensayo

a. Los resultados de Límite Liquido cuando se utiliza el método de un punto no deben variar en más del 1%, entre dos resultados consecutivos.

b. Durante la preparación de la muestra de ensayo, es recomendable, para asegurar que la humedad está mejor distribuida, realizar un movimiento de agitado de la misma, haciéndola ir y venir de una mano a otra.

c. Si el operador del ensayo no tiene la experiencia necesaria, es recomendable que se realice el método multipuntos, debiendo realizar un mínimo de cuatro puntos para formar la curva de flujo.

9.2 De la utilidad de los límites

a. Al igual que la granulometría, los valores de plasticidad de un suelo son utilizados para clasificar la fracción fina de un suelo (VER ANEXO CARTA DE PLASTICIDAD).

b. Los resultados de estos ensayos serán usados para controlar la calidad de los agregados propuestos por el Contratista durante el desarrollo de un proyecto de pavimentación, los mismos deben cumplir con los requisitos de plasticidad previamente establecidos en el pliego de especificaciones del proyecto. Estos requisitos serán diferentes según sea el tipo de pavimento a construir o según la capa del pavimento que se construirá con los mismos(Carpeta o Rodadura, Base , Sub-base y Subrasante).

c. La siguiente TABLA 3.1 muestra la relación entre las propiedades de plasticidad y los cámbios de volúmen para suelos plásticos.

TABLA 3.1 Relación entre las propiedades de plasticidad y los cámbios volumétricos de los suelos plásticos. Fuente : Essentials of Soil Mechanics and Foundations. David F. MacCarthy. David F. McCarthy, P.E.,1977

Ip	wc	Expansión(%Vt,seco o saturado)	Grado de expanción
> 35	< 11	> 30	Muy alto
25 - 41	7 - 12	20 - 30	Alto
15 - 28	10 - 16	10 - 20	Medio
< 18	> 15	< 10	Bajo

d. Si el contenido de agua natural (wn) de un suelo es aproximadamente igual a su límite líquido (wl) se dice que su comportamiento sera el de un suelo Normalmente Consolidado (NC), por lo que se proveen asentamientos significativos. Indudablemente esto es función de las cargas aplicadas al suelo.

e. Si el contenido de agua natural (wn) de un suelo es aproximadamente igual a su límite plástico (wp), se dice que su comportamiento será el de suelo Preconsolidado (PC), por lo que no pueden preveerse asentamientos significativos.

f. En las especificaciones AASHTO y FP-92, se definen los valores máximos permisibles de wl, wp e Ip, que restringen el uso de un suelo como material de un pavimento (VER SECCION 1.2.2, CAP.III).

ENSAYO N°4 GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUELOS
REFERENCIAS : AASHTO T 100 - 93
ASTM D 854 - 83

1. ALCANCES

Este método de ensayo cubre la determinación de la Gravedad Específica de suelos que pasan la malla N°4, usando un Picnómetro. Cuando el suelo se compone de partículas más grandes que la malla N°4 (4.75 mm), el método de ensayo a usarse debe ser el descrito en la especificación ASTM C 127-88 (Gravedad Específica de Agregados Gruesos). Cuando el suelo se compone de partículas más grandes y más pequeñas que la malla N°4, la muestra deberá ser separada sobre esta malla para determinar la Gravedad Específica de cada una de las porciones que separa la misma, utilizando el método de ensayo apropiado para cada porción. Entonces el valor de la Gravedad Específica del conjunto deberá expresarse como la ponderación de los dos valores obtenidos.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 127-88 Gravedad Específica de agregados gruesos
E 12 -81 Definición de los términos relacionando la Densidad y Gravedad Específica de suelos.

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 85 -91 Gravedad Específica de agregados gruesos
R 11 -82 Definición de los términos relacionando la Densidad y Gravedad Específica de suelos.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

En el caso de suelo menor que la malla N°4, una porción de suelo es colocado dentro de un Picnómetro con marca de aforo, se introduce agua dentro del balón del Picnómetro. La muestra de suelo se desaíra utilizando una bomba de vacío o calentamiento del agua contenida. **Los pesos considerados son el de la muestra de suelo en estado seco (A), el peso del Picnómetro con agua hasta su marca de aforo a la temperatura de ensayo(B) y el peso conjunto Picnómetro, agua y suelo (C).** La expresión que determinará la Gravedad Específica será :

$$Gs(Tx/Tx) = \frac{A}{A + B - C} \times K \qquad \text{(Ec.4.1)}$$

En donde :

K : Factor de corrección por temperatura

$$K = \frac{\text{Densidad del agua a temperatura de ensayo}}{\text{Densidad del agua a } 20°C} \qquad \text{(Ec.4.2)}$$

La siguiente TABLA 4.1, muestra los valores de la Densidad Relativa o Gravedad Específica del agua a diferentes temperatura.

TABLA 4.1 Valores de Gravedad Específica del agua y Factores de corrección para diferentes temperaturas. Si en la localización del laboratorio se experimentan temperaturas bajo o sobre estos límites, se deberá determinar la Gs del agua a la temperatura ambiental.
FUENTE: ASTM ANNUAL BOOK, VOL. 04.08, D 854-83

Temperatura, °C	Gs (H2O)	FACTOR K
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

NOTA 1 : A menos que se indique otra cosa, el valor de la Gravedad Específica deberá calcularse en base a la del agua a 20°C.

Cuando el suelo se compone de partículas más grandes y más pequeñas que la malla N°4, la muestra deberá ser separada sobre esta malla para determinar la Gravedad Específica de cada una de las porciones que separa la misma, utilizando el método de ensayo apropiado para cada porción (ver Ensayos N°15 y 16). Entonces el valor de la Gravedad Específica del conjunto deberá PONDERARSE utilizando la siguiente expresión :

$$Gs(pon) = \frac{1}{\frac{R1}{100\ G1} + \frac{P1}{100\ G2}} \qquad \text{(Ec.4.3)}$$

Donde :
R1 : Porcentaje del material retenido sobre la malla N°4
P1 : Porcentaje del material que pasa la malla N°4
G1 : Gravedad Específica Bulk de los Gruesos en condición SSS (ASTM C 127)
G2 : Gravedad Específica del suelo que pasó la malla N°4(usando Ec.4.1)

La Gravedad Específica del suelo grueso (retenido en la malla N°4) se determina con el material en condición Saturado Superficialmente Seco (SSS), utilizando el procedimiento de Ensayo para Gravedad Específica de Gruesos en condición Saturada Superficie Seca, SSS, del CAPITULO III, calculando su valor mediante la siguiente ecuación :

$$Gsbulk(SSS) = \frac{B}{B - C} \qquad \text{(Ec4.4)}$$

Donde :

Gsbulk(SSS) : Gravedad específica Bulk en condición saturada Superficialmente Seca

B : Peso al aire de la muestra en condición SSS (Saturada Superficialmente Seco), g.
C : Peso de la muestra saturada dentro del agua, g.

4. SIGNIFICADO Y USO

La Gravedad Específica es una propiedad Gravimétrica de los suelos, esta a su vez es un indicativo de la calidad de los mismos ya que representa un promedio ponderado de los minerales que los constituyen. Ocasionalmente el valor de la Gravedad Específica puede utilizarse en la clasificación de los minerales del suelo.

La Gravedad Específica de un suelo es usada en casi todas las ecuaciones que expresan una relación entre las fases de un suelo (aire, agua y sólidos).

El término " partículas sólidas", como es usado en Geotécnia se refiere a las partículas minerales que no son solubles en agua. Por esta razón la Gravedad Específica de materiales que contienen cuerpos extrañas (como cemento, limos, etc.) materiales solubles en agua (como cloruro de sodio) y suelos conteniendo materiales con una Gravedad Específica menor de Uno (1.0), generalmente requieren un tratamiento especial para su determinación.

5. DEFINICIONES

5.1 Gravedad Específica (Gs)

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen de un material y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura de ensayo. Es un valor adimensional.

5.2 Gravedad Específica Bulk (Gsb)

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen de agregados(incluyendo los vacíos permeable es e impermeables en las partículas, (pero no los vacíos entre éstas) y el peso al aire de un volumen igual de agua destilada - desairada a una temperatura establecida.

5.3 Picnómetro

Es un frasco volumétrico de vidrio, el cual contiene una marca de aforo, indicadora del volumen o capacidad conocida del mismo. Se componen de un cuello en donde se localiza la marca de aforo y el balón para recepción de las muestras de suelo.

Cada Picnómetro posee su propia Curva de Calibración, la cual se puede determinar al obtener los pesos del agua que este puede contener a diferentes temperaturas, hasta su marca de aforo.

6. EQUIPO

6.1 Picnómetro de 500 ml de capacidad.

6.2 Balanza de 2610 g. de capacidad, con aproximación de 0.01 g.

6.3 Equipo para calibración del Picnómetro
Balanza, hornilla, mechero, recipiente (balde), termómetro con capacidad para medir 100°C, Guantes de asbesto.

6.4 Bomba de Vacíos o equipo para calibración del Picnómetro.

6.5 Materiales
Muestra de suelo, alcohol para limpieza del Picnómetro, papel higiénico, hielo, fósforos, agua potable

7. PROCEDIMIENTO.

7.1 Calibrar el Picnómetro, encontrando los pesos del PICNOMETRO + AGUA, (B) a diferentes temperaturas, hasta su marca de aforo. Serán necesarios por lo menos cinco (5) pares de valores (Tx , B) para conformar la Curva de Calibración del Picnómetro B vrs Tx°C. Se debe tratar de obtener pesos abajo y sobre el rango de temperaturas normales del sitio donde se localiza el laboratorio. No se debe olvidar registrar al inicio de la calibración el peso del Picnómetro limpio y seco.

7.2 Si la muestra de suelo se encuentra húmeda, deberá secarse hasta peso constante en un horno por un período de 18 a 24 h. a 105°C.

7.3 Pesar aproximadamente 100 g. de suelo seco dentro del Picnómetro Registrar el peso seco de la muestra como A. Introducirle agua potable hasta las 3/4 partes de la capacidad del balón rodándolo para lograr que el agua penetre dentro de la muestra de suelo .

7.4 Remover el aire atrapado usando una bomba de vacío cuya succión no exceda de 100 mmHg, o calentando el agua que está contenida dentro del Picnómetro. De usarse este último método, se deberá rolar manualmente el Picnómetro cada 5 min. durante su calentamiento. Esta operación debe durar entre 20 a 30 min.

7.5 Una vez logrado el desairado se llena el Picnómetro con agua desairada, hasta su marca de aforo y se obtiene el peso C en esas condiciones. Si el método de calentamiento ha sido utilizado, se deja enfriar el Picnómetro a temperatura ambiente luego se afora para obtener su correspondiente peso C.

8. CÁLCULOS

8.1 Calcular la Gravedad Específica de el suelo, basado en la temperatura Tx de ensayo, mediante la Ec. 4.1. La corrección de temperatura puede hacerse

considerando los valores de K recomendados por ASTM D 854, los cuales aparecen en este procedimiento dentro de la TABLA 4.1

8.2 Si el material se compone de Gruesos y Fino, la Gravedad Específica podrá calcularse utilizando la Ec. 4.3.

8.3 A menos que otra cosa se indique la Gravedad Específica del suelo deberá calcularse para una temperatura base de 20°C.

8.4 Cuando una porción de la muestra original de suelo es eliminada en la preparación de la muestra de ensayo, la porción sobre la cual fue hecho el ensayo , deberá reportarse.

9. INFORME

Además de la información general concerniente a la muestra de ensayo, el informe de Laboratorio deberá contener :

9.1 El valor de la Gravedad Específica del suelo; si ésta es ponderada, deberán presentarse los valores individuales de las porciones gruesa y fina utilizadas para tal ponderación.

9.2 El valor de la temperatura Tx de ensayo a la cual se obtuvo el peso C.

9.3 La Curva de Calibración del Picnómetro, en papel milimetrado (escala natural), anexando en esta gráfica el número del Picnómetro, su peso vacío y la fecha de calibración.

9.4 La Curva de Calibración deberá trazarse como la tendencia central de los puntos (Tx , B) obtenidos.

9.5 La clasificación del suelo ensayado

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Para efectos prácticos el valor de la Gravedad Específica (Gs) deberá expresarse con aproximación de tres cifras decimales (hasta las milésimas)

b. Para lograr un desairado efectivo, podrá agitarse el Picnómetro manualmente de tal forma de lograr que la muestra sea removida internamente. No deberá golpearse el Picnómetro para realizar esta actividad, este se puede quebrar.

c. Registrar los pesos con aproximación a las décimas de gramos y las temperaturas con aproximación de 0.5°C.

d. Para la elaboración de la Curva de Calibración del Picnómetro, deberán buscarse las escalas apropiadas para ambas magnitudes, de tal forma que esta gráfica no sea muy ajustada o inclinada.

e. El aforado del Picnómetro deberá realizarse de tal forma, que la parte inferior del menisco de agua formado en el cuello de éste, coincida con la marca de aforo indicada en el mismo.

f. El ensayo deberá realizarse por lo menos con dos Picnómetros diferentes, de tal forma de poder promediar estos valores. Este promedio solamente será confiable cuando la direrencia entre los mismo es menor de 0.06 centésimas.

10.2 De la utilidad de la Gravedad Específica (Gs)

a. La relación de vacíos puede calcularse en función de la Gravedad Específica (Gs) de los sólidos y del Peso Volumétrico del suelo; así:

$$e = (Gs.\Gamma o / \Gamma d) - 1 \qquad \text{(Ec.4.5)}$$

b. Permite medir en una forma aproximada, la calidad del suelo para su uso en un proceso constructivo. Así, un suelo con alta Gravedad Específica (Gs) (mayor de 2.5) será de buena calidad para un proceso constructivo, ya que sus granos constituyentes tienen mayor peso por unidad de volumen.

ENSAYO N°5 **ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASIÓN USANDO LA MÁQUINA DE LOS ANGELES.**

REFERENCIAS : AASHTO T 96-92
ASTM C 131-89,

1. ALCANCES

Este procedimiento de ensayo cubre la determinación de la Resistencia a la Degradación usando la Máquina de Los Angeles, de agregados menores a 1 1/2".

El procedimiento para ensayo de agregados gruesos mayores que la malla 3/4" deberá desarrollarse según especificación ASTM C 535.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 136-84a	Granulometría de agregados gruesos y finos
C 535-90	Desgaste por abrasión para agregados de mayor tamaño que la malla N°3/4", usando la Máquina de Los Angeles.
C 702-87	Reducción de muestras de campo para el ensayo de agregados
D 75-82	Práctica para muestrear agregados

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 27-93	Granulometría de agregados gruesos y finos
T 248-89	Reducción de muestras de campo para el ensayo de agregados
T 2-91	Práctica para muestrear agregados

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregados de 5000 g, con una granulometría conocida, es introducida al tambor de la Máquina de Los Angeles, dentro de este, la muestra es sometida a acciones de abrasión, impacto y pulverización las cuales son ejecutadas por una carga abrasiva compuesta de esferas de acero . Esta carga abrasiva depende de la granulometría original que tenga el agregado a ensayar. La muestra se hace rotar dentro de la máquina a una velocidad de 33 rev/min, para un total de 500 rev. después de lo cual, esta se saca y se tamiza por la malla N°12 (1.70 mm), para determinar por diferencia de pesos, el Porcentaje de material que pasa esta malla, lo cual representa el DESGASTE de la muestra ensayada.

4. SIGNIFICADO Y USO

Los materiales a usarse en la construcción de carreteras deben ser duros y resistentes al desgaste ocasionado por el efecto mecánico de pulición del tráfico y los efectos abrasivos internos de cargas repetitivas.

Este ensayo es la medida más común de la dureza en los agregados, Este ensayo nos permite tener una idea, de la forma en que se comportaran los agregados, bajo los efectos de la Abrasión causados por el l tráfico. Además nos proporciona una idea del grado de intemperismo que poseen los agregados. Los agregados intemperizados tendrán valores de desgaste elevados, por lo que su uso podrá ser limitado o nulo, dentro de un proyecto de pavimentación. Por lo tanto, este valor, es muy utilizado cómo un indicador de la relativa calidad de los agregados a utilizarse en pavimentación.

Los resultados del ensayo no deben utilizarse para hacer comparaciones inmediatas entre distintas fuentes en origen, composición minerológica o estructura de los agregados.

Cuando se necesite utilizar las especificaciones de desgaste en resultados de ensayos de Desgaste, debe tenerse cuidado de tomar en consideración la disponibilidad de los mismos asi como también sus usos a lo largo de su historia.

5. DEFINICIONES

5.1 ABRASIÓN

Término que hace referencia a los efectos del desgaste mecánico, pulición, raspadura que se producen en los agregados, mediante la fricción y/o el impacto, cuando estos se mueven hacia arriba o hacia abajo, dentro de una masa de suelo, a consecuencia de las cargas impuestas sobre ésta.

6. EQUIPO

6.1 MAQUINA DE LOS ANGELES.

Debe ser capaz de rotar a una velocidad de 30 a 33 rev/min, tener las características y medidas que se especifican en el estándar ASTM C 131-89.

6.2 Mallas, conforme a la especificación E 11-87.

6.3 Balanzas, una de 20 Kg y otra de 2610 g de capacidad, con aproximación de 1.0 Kg. y de 0.1 g respectivamente.

6.4 Carga abrasiva.

Son esferas de acero de 1 27/32" de diámetro y cuyo peso individual oscila entre 390 a 445 g. Esta carga abrasiva se indica en la TABLA 5.1 y depende de la granulometría original de la muestra analizada, así según las granulometrías Tipos A, B, C, D de la especificación ASTM D 1241-68.

TABLA 5.1 Tamaño de la carga abrasiva según la granulometría original de la muestra analizada. FUENTE : ASTM ANNUAL BOOK, VOL 04.03 1990, C 131-89

GRANULOMETRIA TIPO	NUMERO DE ESFERAS	CARGA ABRASIVA, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

7. PROCEDIMIENTO

7.1 La muestra de prueba debe prepararse con agregado representativo del banco a usar. Esta muestra deberá ser lavada a través de la malla N°200 y secada a una temperatura entre los 105°c y 110°c hasta peso constante.

7.2 Separar el agregado en fracciones, haciendo uso de los tamices indicados en la TABLA 5.2 Luego esta granulometría se compara con los rangos de valores dados en la misma para obtener el tipo de granulometría del ensayo de Desgaste. En caso que los resultados difieran de los indicados, se recomienda considerar el tipo de granulometría más cercano al de ensayo.

7.3 Según la granulometría encontrada en el paso anterior, se procede a preparar la muestra de ensayo , atendiendo a los valores de la TABLA 5.3. Este peso se registra como W1. La muestra así preparada y pesada juntamente con la carga abrasiva correspondiente según TABLA 5.1, se vierten dentro del tambor de la máquina de Los Angeles. Se cierra la compuerta y se hace girar a una velocidad de 30 a 33 rpm, hasta completar 500 revoluciones(Ver FIG 5.1); la máquina deberá mantener una velocidad periférica, sustancialmente uniforme (la marcha lenta o deslizamiento en el mecanismo propulsor es muy probable que dé resultados diferentes).

7.4 Descargar el material de la máquina de Los Angeles sobre una bandeja para luego separarla preliminarmente con una malla más gruesa que la malla N°12 (puede utilizarse la N°4), estos retenidos se lavan sobre la misma malla N°4 para eliminar de su superficie los finos adheridos y se colocan en una bandeja para introducirlos al horno posteriormente.

7.6 El material que pasó la malla N°4 se tamiza por la malla N°12, debiendo luego lavarlos sobre ésta última a fin de eliminar los finos adheridos a las partículas retenidas. El material que pasó la malla N° 12 se desecha.

7.7 El material lavado sobre la malla N°12 se vierte sobre la bandeja que contiene al material lavado sobre la malla N°4, para someterlos a secado por 24 h a 105°C.

TABLA 5.2 Tipos de granulometrías de comparación para los agregados a ensayar en la máquina de Los Angeles.FUENTE: ANNUAL BOOK, VOL.04.08, ASTM D 1241- 68(1989).

MALLA N° (pulg)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA			
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
2	100	100	---------	-------
1	-------	75 - 95	100	100
3/8	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
N°10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
N°40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
N°200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

7.8 Transcurrido este tiempo se saca del horno, se pesa y se registra su peso como W2, en la casilla del cuadro correspondiente.

TABLA 5.3 Pesos de los diferentes tamaños de agregados para el ensayo de Desgaste.FUENTE : ASTM ANNUAL BOOK, VOL 04.03 1990, C 131-89

MALLA		Peso de los tamaños indicados (grs)			
		Grado			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
11/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8				5000±10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ±10	5000±10

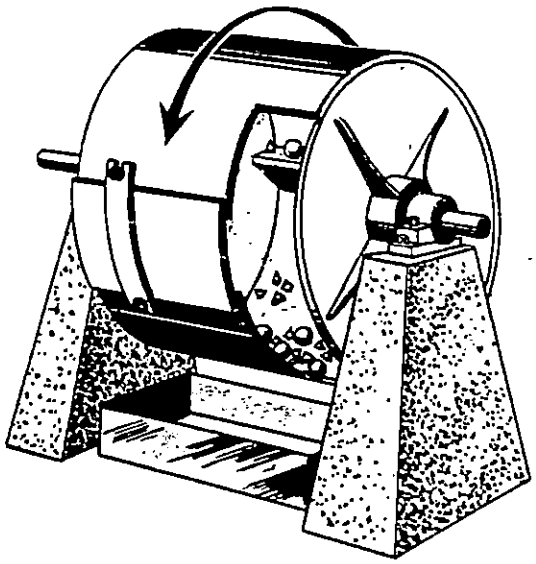


FIG. 5.1 Muestra de agregados dentro de la máquina de desgaste. 500 rev. a 33 rev/min.

10.2 De la utilidad del Ensayo de Desgaste

a. Los requisitos de desgaste para un material, generalmente son dados en las especificaciones del proyecto, estos son fijados a menudo como el límite superior permisible en pérdida de peso por desgaste para una muestra de ensayo.
Muchas especificaciones indican los límites de desgaste presentados en las Secciones 1.2.1 y 1.2.2 CAP III, para materiales de base y sub-base .

b. El valor obtenido, nos indica que tan grande será el efecto de pulimentación, que los agregados tendrán cuando se vean sometidos las cargas vehiculares. Así el ensayo de desgaste puede considerarse como un indicativo de la calidad del material (roca).

c. No es recomendable rechazar el uso de un material pétreo, basado únicamente en el resultado obtenido del ensayo realizado. El destino de cada material definirá en muchas instancias la adecuación del mismo, a los propósitos requeridos.

ENSAYO N°6 **RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO (PROCTOR DE SUELOS)**
REFERENCIAS : AASHTO T 180-93
ASTM D 1557-78

1. ALCANCES

Este método de ensayo comprende la determinación de la relación entre la Densidad o Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua de un suelo, cuando estos son compactados en el Laboratorio utilizando un martillo de 10 Lbs. con una altura de caída de 18 pul. (Proctor Modificado)

El método de ensayo referido en el estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698, Proctor Estándar) no se desarrolla aquí ya que no se utiliza como referencia, en los procesos constructivos de proyectos de carreteras.

Existen TRES (3) procedimientos alternativos (A,B,C) del método AASHTO T 180 para desarrollar un ensayo Proctor (Ver TABLA 6.1).

TABLA 6.1 Procedimientos alternativos para realizar un ensayo de compactación Proctor Modificado T-180 (Martillo de 10 lbs de peso y altura de caída h = 18"). Fuente : Annual Books, ASTM D 1557.

REQUISITOS	PROC. A	PROC. B	PROC. C
Malla que pasa el material	No.4	3/8"	3/4"
Diámetro del molde usado	4"	4"	6"
No. de capas	5	5	5
No. de golpes/capa	25	25	56
Vol. del molde sin collar(pie3)	1/30	1/30	1/13.33
Energía de compactación. (lbf.pie) / pie3	56000	56000	56000

NOTA 1:

El procedimiento A puede ser usado si el 20% o menos del peso del material es retenido sobre la malla N° 4. Si este procedimiento no es especificado y los materiales poseen este tipo de gradación, se podrán utilizar los procedimientos B o C para su ensayo.

El procedimiento B podrá ser usado si más del 20% del peso del material es retenido en la malla N 4 y 20% o menos del mismo material es retenido sobre la malla 3/8". Si este procedimiento no es especificado y los materiales poseen este tipo de gradación, se podrá utilizar el procedimiento C para su ensayo, además se podrá utilizar el procedimiento C , si mas del 20% del peso del material es retenido sobre la malla 3/8" y menos del 30% del mismo material es retenido sobre la malla 3/4".

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 136-84a Granulometría de agregados gruesos y finos
D 854-83 Gravedad Específica de Suelos
D 2216-80 Determinación de el contenido de agua de suelos

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 27-93 Granulometría de agregados gruesos y finos
T 100-93 Gravedad Específica de Suelos
T 93-86 Determinación de el contenido de agua de suelos

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Un suelo con un contenido de agua prediseñado es colocado en cinco (5) capas dentro de un molde cilíndrico (VER FIG.6.1). Cada capa es compactada usando un martillo en forma de vástago, con peso de 10 lbs y altura de caída de 18 pulgadas, guiado por un mecanismo que asegura que la caída sea en forma libre y vertical. Al finalizar el compactado de las cinco capas se elimina el material compactado contenido en el volumen del collarín del molde, enrasando completamente el material a la altura del molde (5.584"). El material contenido en esas condiciones, se pesa y se le determina su contenido de agua de compactación. Este proceso se repite para cinco (5) especímenes compactados bajo las mismas condiciones de Energía de Compactación y diferente Contenido de Agua..

Los datos de Peso Unitario Seco y de Contenido de Agua son ploteados en papel natural, para obtener una gráfica en forma de campana, de la cual se obtendrá el Peso Volumétrico Seco Máximo (Γd) y el Contenido Óptimo de agua (w_{opt}) del suelo ensayado (Ver FIG. 6.2)

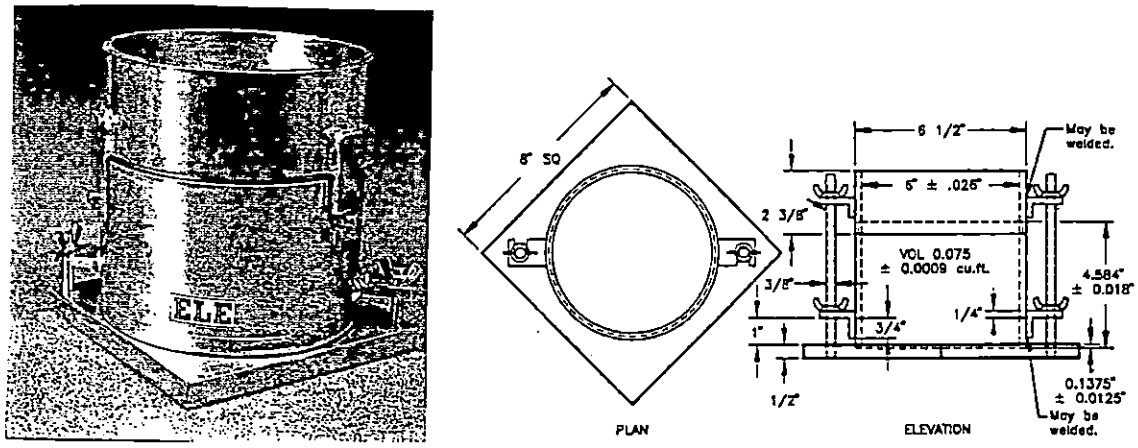


FIG. 6.1 Molde para compactación de suelos bajo el método modificado AASHTO T 180-93 o ASTM D 1557-78.

4. SIGNIFICADO Y USO

Los suelos colocados dentro de una obra de ingeniería (terraplén, relleno de fundación, bases de caminos) son compactados a una densidad requerida para obtener propiedades ingenieriles satisfactorios, tales como altas resistencias, bajas compresibilidades y bajas permeabilidades, es decir para mejorar sus propiedades mecánicas.

El ensayo de compactación de laboratorio provee las bases para la determinación del Porcentaje de Compactación (Grado de Compactación) y del contenido de agua de un suelo que se va a utilizar o está siendo utilizado en un proceso de compactación en el campo.

Así también los valores de Peso Volumétrico Seco Máximo y Contenido Óptimo de Agua son utilizados para determinar el CBR de suelos compactados en Laboratorio.

5. DEFINICIONES

5.1 Energía de Compactación

Es la energía suministrada a un suelo por medio de cualquier equipo o maquinaria para compactación con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

Probeta graduada de 1000 ml. de capacidad, guantes de hule manga larga, cinta métrica, regla enrasadora de ocho (8) pulgadas de largo, cucharón, espátula con hoja de 4", charola de lámina de 50 x 50 x 20 cm, charolas para contenido de humedad.

7. PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar el proceso de compactación se hace necesario que el equipo a utilizar se encuentre debidamente calibrado (pesos y volúmenes conocidos y que la muestra de ensayo se encuentre completamente seca. Además se hace necesario conocer la gradación del material a ensayar para así poder determinar el procedimiento a usar. Dentro de las mallas usadas deben incluirse la malla N°4, 3/8" y 3/4".

7.1 Tamizar la muestra de ensayo a través de la malla que indica la TABLA 6.1 según el procedimiento de ensayo a utilizar. La cantidad tamizada deberá ser suficiente para la compactación de cinco (5) especímenes. Cada especímen requiere un peso seco suelto aproximado de 4500 g, del material a ensayar.

7.2 Para lograr un punto de referencia se prepara una muestra de material con una humedad aproximada a la óptima. Para lograr esto se pesan 250 g de material tamizado en estado seco, se le agrega agua para humedecerla completamente hasta lograr formar un grumo consistente por medio de la presión de la mano, en ese momento se determina el agua agregada o contenido de agua del material a través de la siguiente ecuación :

$$\%W\ aprox. = \frac{100 \times Vol.\ de\ agua\ agregada}{250} \qquad \text{(Ec. 6.2)}$$

Este valor de humedad servirá de punto de partida para los valores de humedad proyectados durante el ensayo. Para esto, se procede a disminuir y aumentar este valor en dos puntos (es decir en 2%), así la rama izquierda y la derecha de la curva de compactación, se formarán con dos puntos cada una, cuyos valores de humedad serán menores y mayores respectivamente, en dos y cuatro puntos respecto al valor " %W aprox". Esto es :

Punto N°	Contenido de agua proyectado	Rama de la curva
1	%W aprox. - 4%	Seca
2	%W aprox. - 2%	Seca
3	%W aprox.	Seca o Húmeda(*)
4	%W aprox. + 2%	Húmeda
5	%W aprox. + 4%	Húmeda

(*)NOTA2 : El punto compactado con la Humedad aproximada a la óptima podrá ser parte de cualquiera de las dos ramas, esto dependerá de si la verdadera Humedad Óptimo esta bajo o sobre dicho valor aproximado.

7.3 Determinar la cantidad de agua a agregar a cada muestra de suelo, multiplicando el Porcentaje de Agua Proyectado (expresado como un número decimal) por el Peso de material de cada punto (4500 g).

7.4 Iniciar la compactación por el punto de menor Humedad Proyectada, procediendo de la siguiente manera :

7.4.1 Colocar la muestra de 4500 g. dentro de la bandeja cuadrada de 50 x 50 cm, luego agregar el agua proyectada para humedecerla completamente, esto debe realizarse con la ayuda del par de guantes de hule, hasta que el agua agregada este completamente distribuida en la muestra de suelo a compactar.

7.4.2 Una vez logrado lo anterior se prepara el molde con su collarín. Esto consiste en verificar que los tornillos sujetadores del cilindro a la base estén correctamente asegurados. En el molde así preparado se hacen cinco (5) marcas internas, de la misma altura, las cuales indican el espesor de la capa suelta a compactar. Esta operación no debe consumir más de 2 minutos.

7.4.3 Colocar suelo preparado (humedecido) dentro del molde atendiendo a las marcas hechas anteriormente en el interior del molde (Cada marca indica una capa de suelo a compactar). Aplicar la Energía de Compactación a cada capa atendiendo a lo establecido en la TABLA 6.1. El martillo debe caer libremente y no debe permitirse su rebote durante la acción de compactado..

7.4.4 Cuando se ha compactado la última capa, se procede a eliminar el material compactado ubicado dentro del collarín. Esta actividad debe completarse hasta que el material a eliminar, alcance la posición del material del cual se va a considerar su Peso Húmedo (material enrasado).

7.4.5 Una vez logrado el ENRASADO se limpia externamente el molde y se pesa el conjunto Molde + Base+ Suelo Húmedo y se registra este peso, dentro del cuadro de Control de Densidad, como P s.h + m.

7.4.6 Realizar el control de Contenido de Agua, tomando las muestras para ello, del material que sobró en la bandeja después del compactado. Estos datos se anotarán en el cuadro de Control de Humedad.

7.4.7 Se desaloja el material contenido dentro del molde y se procede a compactar la siguiente muestra con la humedad correspondiente.

7.5 Repetir para cada muestra a compactar, el proceso indicado del literal 7.4.1 hasta el literal 7.4.7.

8. CÁLCULOS

La determinación de la relación DENSIDAD - HUMEDAD requiere de los siguientes cálculos :

8.1 Volumen del molde para compactación (V)

$$V = \frac{\pi . D^2 . h}{4} \qquad \text{(Ec. 6.3)}$$

En donde :

D : Diámetro del molde
h : Altura del molde

8.2 Contenidos de Agua de prueba.

$$\%W = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \qquad \text{(Ec. 6.4)}$$

8.3 Peso Húmedo de las muestras compactadas . Estos pesos se obtienen a través de la diferencia de los pesos correspondientes

8.4 Pesos Unitarios Húmedos y Secos

$$\Gamma h = \frac{\text{Peso muestra Húmeda}}{\text{Volumen del molde}} = \frac{PMH}{V} \qquad \text{(Ec. 6.5)}$$

$$\Gamma d = \frac{\text{Peso Volumétrico Húmedo}}{1 + \frac{\text{Humedad control}}{100}} = \frac{\Gamma h}{1 + \frac{\%W}{100}} \qquad \text{(Ec. 6.6)}$$

En donde : Γ h = Peso Volumétrico Húmedo
Γ d = Peso Volumétrico Seco

8.5 Trácese los Pesos Volumétricos Secos (densidad) del suelo como ordenadas y los contenidos de humedad correspondientes como abcisas. Dibújese una curva continua que conecte los puntos trazados. El contenido de humedad correspondiente al punto máximo de la curva dibujada, se ha de denominar " Contenido Óptimo de Agua " del suelo. El Peso Volulmétrico Seco correspondiente a esa cantidad de Agua Óptimo se denominará " Peso Volumétrico Seco Máximo"

8.6 Calcular el Peso Unitario Máximo Teórico de la Curva de Saturación y plotear esta curva para cada Contenido de Agua proyectado.

$$\Gamma d\ sat = \frac{\Gamma w}{\%W + (1/Gs)} \qquad \text{(Ec. 6.7)}$$

9. INFORME

Además de la información general sobre el suelo ensayado, el informe de laboratorio deberá incluir lo siguiente :

9.1 El método usado (A, B o C)
9.2 El contenido óptimo de humedad y el Peso Volumétrico Seco Máximo
9.3 Porcentaje de material que pasa las mallas N°4, 3/8" y 3/4".
9.4 Gravedad Específica (Gs) de los sólidos del suelo ensayado.
9.5 La Curva de Compactación y de Saturación con su respectiva identificación
9.6 El valor correspondiente al 95% del $\Gamma dmax$.
9.7 La forma de compactación (manual o mecánica)

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Para la compactación de Laboratorio no se debe reutilizar material.

b. La parte superior de la gráfica Γd x %w deberá suavizarse con una curva, de tal forma que su punto máximo esté a la misma cota vertical, que el punto más alto logrado en la respectiva compactación de laboratorio.

c. Para el control de Contenidos de agua, se deben considerar dos especímenes por muestra de material compactado. El resultado de Contenido de agua para cada punto será el promedio de ambos especímenes.

d. Los incrementos de Contenido de Agua (%w) respecto al Óptimo aproximado no deben exceder del 4%.

e. Si la compactación se realiza manualmente, el operador del ensayo deberá compactar los cinco (5) especímenes, esto es, no se debe permitir que dos o más personas se involucren en la misma actividad de compactación de un mismo suelo. Si la compactación se hace con compactador mecánico, hay que revisar que el mecanismo de caída del martillo esté colocado para una altura de 18" ó 12" según sea el método utilizado en el ensayo.

f. Durante el enrasado del material húmedo, no se debe perforar el material más allá de el borde superior del molde.

g. Si en el trazo de la Curva de Compactación los puntos no son alineados, se deberá trazar la tendencia central más exacta entre los puntos a unir.

10.2 De la utilidad del ensayo Proctor

a. En El Salvador, este método aún es generalmente usado, para obtener un patrón de referencia que sirva para aceptar las compactaciones de campo. A sabiendas que los equipos de compactación de campo se han vuelto cada día más eficientes, debiera de considerarse otro forma de compactación de laboratorio, que pueda reflejar con mayor exactitud la calidad de la compactación que los equipos modernos logran desarrollar en el campo. Es decir que el método de compactación de laboratorio debe ser desarrollado, bajo condiciones simuladas a las de campo, por ejemplo, actualmente en El Salvador se usa el Proctor para referenciar compactaciones hechas con rodillos lisos vibratorios, rodillos pata de cabra vibratorios, etc. Esto resulta no ser lo más conveniente, ya que el método Proctor por ser un método dinámico de compactación, no simula las condiciones de vibro-compactación que realmente se utiliza en la práctica de campo.**(MÉTODO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO USANDO UN RODILLO LISO.Melara Ruíz, Enrique E. 1986, Universidad de Mayagüez, Puerto Rico. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil).**

b. La facilidad de este método, permite que todavía su uso sea generalizado en nuestro medio.

c. A menos que se indique lo contrario en las especificaciones de proyecto, el control de compactaciones para carreteras, deberá referenciarse al método AASHTO T 180, PROCEDIMIENTO "C" (Ver TABLA 6.1 de este ensayo).

d. No se deberá realizar un ensayo Proctor, para el control de compactación, en aquellos materiales que en un proyecto de carreteras, hallan sido considerados como MATERIALES NO COMPACTABLES, a menos que estos sean transformados a MATERIALES COMPACTABLES, a través de eliminarles las rocas que los vuelven no compactables.

e. En las compactaciones de campo siempre deberá buscarse adecuar el equipo de compactación al tipo de material a compactar. A continuación se presenta la TABLA 6.2 en la cual se muestran los diferentes métodos de compactación, su equivalencia en laboratorio y en campo, conjuntamente con el tipo de suelo en donde éstos métodos proporcionan mejores resultados.

TABLA 6.2 Correspondencia entre el equipo de compactación de campo y de laboratorio, tipo de suelo para mejores resultados.Fuente : Simpósio sobre Cimentaciones. MS, Ing. Melara Ruíz, Enrique E., ASIA 1989.

MÉTODO DE COMPACTACION	EN LABORATORIO CORRESPONDE A	EN CAMPO CORRESPONDE A	TIPO DE SUELO PARA MEJORES RESULTADOS
Dinámico	Proctor	Rodillo Liso-vibratorio, bailarinas,pizón.	Arenas limosas Limos arenosos
Amasado	Mini-Harvard	Rodillo pata de cabra, rodillo pata de elefante.	Arcillas arenosas, arcillas limosas
Estático	Porter	Pesos grandes sobre el área de proyecto.	Suelos granulares, suelos rocosos.

f. Los datos que resulten de este ensayo son utilizados para la determinación de la calidad de las compactaciones en las terracerías, a través del Grado de Compactación (GC), el cual se calcula mediante la siguiente Ec.6.8 :

$$GC = \frac{\Gamma d \text{ (de campo)}}{\Gamma dmax \text{ (de Laborat)}} \times 100 \qquad \text{(Ec. 6.8)}$$

ENSAYO N°7 **DETERMINACIÓN DEL CBR (California Bearing Ratio) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO**

REFERENCIAS AASHTO T 193 - 93
ASTM D 1883-73

1. ALCANCES

Este método de ensayo cubre la determinación de la relación de carga (llamada también Relación de Carga California, CBR) en especímenes de suelos compactados y penetrados en el laboratorio, bajo condiciones saturadas.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 702-87	Práctica para muestreo en campo de agregados para ensayo granulométrico.
C 136-84a	Método estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.
C 702-87	Método para reducir muestras de campo
D 75 -82	Práctica para muestreo de agregados.
D 1241-68	Especificaciones para materiales de Base, Subbase y Superficie Granular.
D 2216-80	Determinación del Contenido de Agua de un suelo.
D 2487-85	Clasificación de suelos para propósitos ingenieríles.
E 11-87	Especificación para tamices con paño de alambre, para propósitos de ensayos.
D 1557-58	Ensayo para determinar la relación Humedad-Densidad de suelos y mezclas de suelo agregado, usando un martillo de 10 lb y altura de caída de 18". (PROCEDIMIENTO" C").

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 27-93	Método estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.
T 248-89	Método para reducir muestras de campo
T 2 - 91	Práctica para muestreo de agregados.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Tres (3) especímenes de suelo son compactados con su Humedad Óptima con diferentes energías (56, 25, 12 golpes / capa, cinco capas), luego se someten a saturación por 96 hrs, con el propósito de proveerles las condiciones desfavorables, bajo las cuales serán penetrados al terminar este período de saturación.

La velocidad de penetración del pistón es de 0.05pul/min (1.27 mm/min). Durante esta penetración se toman lecturas de carga, las cuales son transformadas a valores de Esfuerzo Normal. Estos son comparados con un Esfuerzo Patrón para 0.1" de penetración (1000 PSI) con el objeto de obtener el CBR de cada uno de los moldes penetrados.

El CBR de Diseño del suelo ensayado se determina en función de su Γdmax, previamente obtenido del ensayo Proctor.

4. SIGNIFICADO Y USO

Al referirnos a este valor, estaremos hablando de la Resistencia al Esfuerzo Normal que tendrán los materiales de base, sub-base o subrasante, bajo condiciones desfavorables de compactación y humedad. Los suelos granulares no plásticos y granulométricamente bien graduados, serán aquellos que alcancen mejores resultados de VALORES SOPORTANTES o CBR ya que estos poseen mejores propiedades mejores drenantes ante condiciones de humedad excesiva. Esto significa que este tipo de suelo podrá disminuir la posibilidad de fallas en la estructura del pavimento. Hay que recordar que la principal causa de hundimientos y fatiga (cuero de cocodrilo) en los pavimentos es la saturación de bases granulares NO PLÁSTICAS.

Por lo tanto el valor CBR de un suelo podrá ser usado, como un parámetro indicador de la calidad del mismo para pavimentos. Así según su valor de CBR, podrá ser utilizado en las distintas capas que conforman a los mismos (Ver TABLA 7.1).

Existen valores límites de CBR que un material debe reflejar para poder ser utilizados como parte de un pavimento. En la siguiente TABLA 7.1 se muestran estos valores, calificando los suelos según el uso que puedan tener dependiendo de su valor CBR.

TABLA 7.1 Calificación de un suelo para pavimentos, en base a su valor de C.B.R. Fuente : Carreteras, Calles y Aeropistas, Valle Rodas, Raúl. Sexta Edición 1976.

CAPA	CALIFICACION				
	MB	B	R	M	MM
SUBCORONA	≥ 20%	10%<CBR<20%	5%< CBR ≤10%	CBR < 10%	CBR < 5%
SUBBASE	CBR ≥ 50%	30%<CBR<50%	20%<CBR≤30%	CBR < 30%	CBR ≤ 20%
BASE	CBR ≥ 80%	50%<CBR ≤80%	40%<CBR<50%	CBR ≤ 40%	CBR ≤ 30%

NOTAS :

1. Para tránsito regular e intenso el CBR mínimo para base debe ser 80%, mientras que para Sub-base debe ser de 20%.

2. SIMBOLOGIA:

MB = Muy buena.
B = Buena.
R = Regular.
M = Mala.
MM = Muy mala.

De aquí que la importancia del CBR, se fundamenta en las siguientes razones :

4.1 Es un indicativo de la calidad del suelo.

4.2 Existe un método aproximado para el Diseño de Espesores de Pavimentos utilizando este valor,

4.3 Este valor es considerado, como parámetro de cálculo en otros Métodos de Diseño de espesores de pavimentos.

5. DEFINICIONES

5.1 CAPACIDAD SOPORTE : Es la disposición que tiene un suelo de resistirse a la penetración.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Máquina de carga.

Con capacidad de 10000 lbf(44.5 KN), capaz de aplicar cargas de penetración a una velocidad de 0.05pul.(1.27mm)/min.(Ver FIG 7.1.a). Otras características están referenciadas en el estándar ASTM D 1883-73.

6.2 Moldes.

Son necesarios tres (3) moldes de forma cilíndrica, con diámetro interno de 6" y altura de 7". Además deben estar provistos de un collar de extensión de 2.0 pul. de altura y del mismo diámetro. La base donde se apoyan éstos debe ser perforada tal como se describe en ASTM D 1883-73 (Ver FIG.7.1.b)

6.3 Disco Espaciador.

Un disco espaciador metálico de 5 15/16"(150.8 mm) de diámetro y 2.416 pul.(61.4 mm) de altura.

6.4 Martillo de compactación.

Debe tener un peso de 10 lb. con 18 pul. en altura de caída. Puede ser manual o mecánico en cuyo caso será necesario proveerlo de una zapata de compactación.(Ver FIG. 7.1.c)

6.5 Trípode con micrómetro para medir Hinchamiento.

Debe estar provisto de tres puntos de apoyo y un dispositivo para sujetar el micrómetro para hinchamiento. Este último debe tener una presición de 0.001" (Ver FIG. 7.1.d).

6.6 Equipo misceláneo.

Este equipo esta constituido por bandejas de lámina, regla enrasadora, tanque de saturación (con capacidad para los tres moldes), horno, papel filtro, martillo, sincel, contrapesos de 5 lbs. cada uno (Ver FIG.7.1.b), probetas graduadas de 1000 ml. de capacidad, guantes de hule.

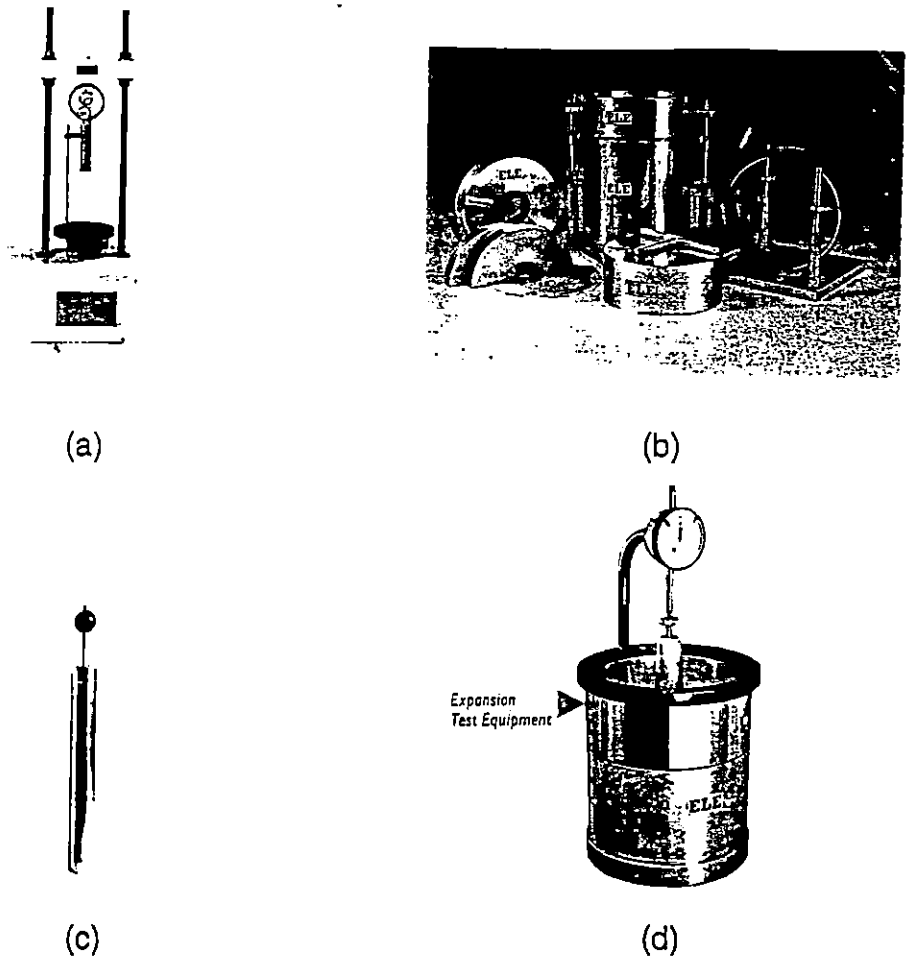


FIG 7.1 a) Máquina de carga b)Moldes con collarín, sobrecargas y anillo espaciador. c) Martillo de compactación de 10 lbs de peso y 18" de altura de caída. (d) Disposición del equipo para medir hinchamiento en el ensayo CBR.

7. PROCEDIMIENTO

El procedimiento de ensayo se puede dividir en cuatro grandes partes:

7.1 Ensayo Densidad-Humedad AASHTO T-180- 93 , procedimiento C.
7.2 Elaboración de los especímenes de ensayo para CBR.
7.3 Saturación de los especímes de ensayo.
7.4 Penetración de los especímenes de ensayo.

A continuación se describe en forma concisa cada uno de estos pasos.

7.1 Ensayo Densidad-Humedad AASHTO T-180- 93 , método C.

Siguiendo el procedimiento del Ensayo N°6, se obtienen las propiedades Proctor (Wopt. y PVSmáx) del suelo a ensayar, compactando 5 especímenes bajo las siguientes condiciones :

Molde utilizado	:	6"
Martillo utilizado	:	10 lbs. de peso y altura de caída de 18"
Material que pasa	:	malla 3/4"
N° de capas	:	5
N° golpes/capa	:	56

7.2 Elaboración de los especímenes de ensayo para CBR.

Se compactan tres (3) moldes para ensayo CBR, utilizando diferentes energías de compactación para el mismo martillo (10 lb de peso y 18" pul. de altura de caída). Esto es :

Molde N°1	Cinco capas, 56 golpes/capa.
Molde N°2	Cinco capas, 25 golpes/capa.
Molde N°3	Cinco capas, 12 golpes/capa.

La humedad requerida para compactar estos tres especímenes es la obtenida en el ensayo Proctor como Humedad Óptima.

7.3 Saturación de los especímenes de ensayo.

Los moldes compactados con diferentes energías, son sometidos a saturación por un período de 96 h.(cuatro días), durante el cual se hacen lecturas de hinchamiento cada 24 h. El hinchamiento se mide con un micrómetro de 0.001"/div . La lectura de hinchamiento registrada al final de estas 96 h. se expresa como un porcentaje de la altura inicial de la muestra. Esto es :

$$\%H = \frac{\text{Lect.(96 h)* 0.001"}}{\text{Hmuestra(pulg)}} * 100 \qquad \text{(Ec 7.1)}$$

7.4 Penetración de los especímenes de ensayo.

Transcurrido el período de saturación se sacan los especímenes del tanque de saturación, se secan superficialmente y se pesan en esas condiciones. Registrar este peso como Peso saturado de molde + muestra antes de penetrar.

En estas condiciones se procede a penetrar cada especimen, utilizando la máquina de carga a una velocidad de penetración de 0.05"/min. Se harán lecturas en el micrómetro del anillo de carga, correspondientes a las penetraciones de 0.025", 0.050", 0.075", 0.100", 0.150", 0.200", 0.300", 0.400" y 0.500".

Durante la penetración se deberá colocar en el extremo penetrado de las muestras, dos contrapesos de 5 lbs cada una, del tipo descrito en la Sección 6, del equipo para el ensayo.

Estas lecturas serán traducidas a valores de Esfuerzo Normal de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{\text{Lectura de carga} * K}{A(\text{pistón})} \qquad \text{(Ec. 7.2)}$$

Donde :

K	=	Constante del anillo de Carga (en Lbs/div)
A(pistón)	=	Area del pistón de penetración (3 pul^2)

8. CÁLCULOS

En este ensayo se hará necesario calcular Pesos de materiales(húmedos y saturados), Porcentajes de agua, Pesos Volumétricos (húmedos, secos, saturados y secos saturados. Para tales propósitos :

8.1 Los Pesos de materiales se abstendrán por diferencia entre otros pesos inherentes al que se desea calcular. Los Porcentajes de agua se calcularan según la ecuación Ec. 6.3

8.2 Los Pesos Volumétricos Húmedos, serán obtenidos, de la definición básica de Peso Volumétrico, de esta forma para el material húmedo tendremos :

$$\Gamma h = \frac{PH}{V(\text{muestra})} \qquad \text{(Ec. 7.3)}$$

Donde:

Γh : Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³).
PH : Peso Húmedo de la muestra de cada molde (g).
V(muestra) : Volumen de la muestra (cm³).

8.3 Los Pesos Volumétricos Secos, se obtendrán mediante la siguiente expresión:

$$\Gamma d = \frac{PVH}{1 + \%W/100} \qquad \text{(Ec. 7.4)}$$

En donde :

Γs = Peso Volumétrico Seco (Kg/m³).

8.4 Los Pesos Volumétricos Húmedos Saturados, se calcularan así:

$$\Gamma hsat = \frac{P\ sat.}{V\ muestra} \qquad \text{(Ec. 7.5)}$$

Donde :

Γhsat = Peso Volumétrico Húmedo de la muestra saturada (Kg/m³)
P sat = Peso de la muestra en estado saturado(g).
Vmuestra = Volumen de la muestra (cm³).

8.5 Los Pesos Volumétricos Secos Saturados, serán obtenidos así :

$$\Gamma s\ sat = \frac{PVHsat}{1 + \%Wsat/100} \qquad \text{(Ec.7.6)}$$

Donde :

Γs sat = Peso Volumétrico Seco Saturado (Kg/m³)
%Wsat = Contenido de agua de las muestras saturadas.

8.6 Los porcentajes de Hinchamiento se calcularan así :

$$\%H = \frac{Lect.(96\ h)*\ 0.001"}{Hmuestra} * 100 \qquad \text{(Ec. 7.7)}$$

En donde :

%H = Porcentaje de hinchamiento.
Lect.(96h) = Lectura de hinchamiento a las 96 h (1/1000 pul).
Hmuestra = Altura de muestra (pulg).

8.7 Los Esfuerzos Normales se calcularan así :

$$\sigma = \frac{\text{Lectura de carga} * K}{A(\text{pistón})} \qquad \text{(Ec. 7.8)}$$

Donde :

σ = Esfuerzo Normal de penetración (PSI)
K = Constante del anillo de Carga (en Lbs/div)
A(pistón) = Area del pistón de penetración (3 pul^2)

8.8 Los valores CBR para cada especímen ensayado, se calcularan así :

$$CBR = \frac{\sigma(0.1")}{1000} \times 100 \qquad \text{(Ec. 7.9)}$$

En donde :

CBR : Valor Soportante del suelo (%)
σ(0.1"): Esfuerzo Normal correspondiente a 0.1" de penetración.
1000 : Esfuerzo Normal de Referencia (en PSI), obtenidos de la curva de referencia para la base de piedra triturada.

8.9 El CBR DE DISEÑO se obtiene de la curva PVSsat vrs CBR, interpolando este valor para 0.95Γd max. obtenido del ensayo PROCTOR.

9. INFORME

9.1 Método usado para obtener el PROCTOR (T 99 ó T 180).
9.2 Hoja de cálculo del Ensayo Proctor
9.3 Curva Proctor con datos de Γd máx. y %Wopt. de agua.
9.4 Hoja de cálculo del Ensayo CBR
9.5 Condición de penetración de las muestras (Saturadas o no Saturadas).
9.6 Pesos Volumétricos Secos antes y después de la saturación de las muestras.
9.7 Contenidos de agua, antes y después de la saturación de las muestras.
9.8 Porcentaje de hinchamiento de las muestras respecto de su altura inicial.
9.9 Valor del CBR DE DISEÑO del material ensayado.
9.10 Tipo de sobrecarga utilizado (Anular o Ranurada).
9.11 Curvas Esfuerzo-Penetración de los especímenes para CBR.
9.12 Curva PVSsat vrs CBR
9.13 Constante del anillo de carga utilizado
9.14 Valores CBR de cada especímen.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Los Esfuerzos (en PSI) y las Penetraciones, se representan gráficamente, en un sistema de coordenadas naturales, en la forma indicada en la FIG. 7.2

b. Si las curvas Esfuerzo-Penetración que se obtienen son semejante a la del ensayo N°1 (sin concavidad en su parte inicial), los valores a considerar en el cálculo del CBR son los obtenidos directamente en el ensayo. En cambio, si las curvas son semejantes a las correspondiente a los ensayos N° 2 y 3, deberán ser corregidas trazando tangentes en la forma que se indica en la FIG. 7.2. Los puntos A y B donde dichas tangentes cortan al eje de abscisas (Penetraciones) serán los nuevos ceros de las curvas, esto hará que los valores de Esfuerzo a considerar para 0.1" ó 0.2" de Penetración, aumenten su valor.

c. Las cargas unitarias y penetraciones se determinarán a partir de estos ceros. Así por ejemplo si analizamos la curva del ensayo N°3 de la GRAFICA. 7.1, tendremos que el esfuerzo correspondiente a la penetración " corregida" de 0.1" será de 300 PSI, en lugar de 120 PSI, que es la correspondiente a la lectura inicial "sin corregir", para 0.1" de penetración.

d. Registros de laboratorio han permitido realizar las siguientes modificaciones :

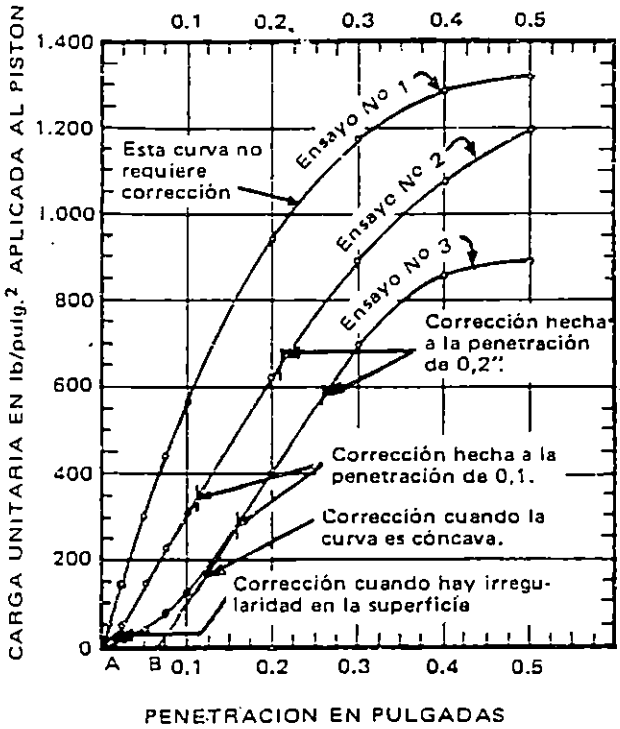
d.1 El procedimiento estándar especifica que el número de golpes por capa para cada uno de los especímenes preparados es de 56, 25 y 10 (especímenes 1, 2 y 3 respectivamente). En la práctica de campo se acostumbra aplicar 12 golpes/capa al molde N°3. Comparaciones han demostrado que la diferencia en ESFUERZO DE PENETRACION es muy pequeña o prácticamente nula.

d.2 Si el material ensayado es de naturaleza limo arenoso, prodrá reducirse el período de saturación de 96 horas, dado que estos materiales absorben agua más rápidamente y no experimentan hinchamientos significativos después de los períodos citados (Ver ASTM D 1883, Secc.5.4). En la práctica suele reducirse este período a 48 ó 72 horas dependiendo de la urgencia de resultados.

d.3 La utilización del molde de 4" de diámetro con 25 golpes/capa, en sustitución del molde de 6" de diámetro y 56 golpes/capa, especificados en el procedimiento "C" de la TABLA 6.1(ENSAYO N°6), ha reflejado resultados de " Γd" que varían en no más de 30 ó 40 Kg/m^3, respecto al valor obtenido de la aplicación del procedimiento "C" bajo condiciones estandarizadas. Los valores de CBR obtenidos no se ven influidos a causa de esta modificación, en tanto que la pequeña variación del valor de CBR de diseño experimentada, se puede compensar, referenciando dicho valor de diseño al 100% del " $\Gamma dmax$" de la compactación realizada.

e. Si los CBR para 0.1" y 0.2" son semejantes, se recomienda usar en los cálculos el CBR correspondiente a 0.2". Si el CBR correspondiente a 0.2" es muy superior al CBR correspondiente a 0.1", deberá repetirse el ensayo.

f Durante el cálculo del CBR de diseño, no deberán existir valores CBR muy dispersos entre cada punto ya que esto provocaría, que la desviación entre los puntos considerados, sea muy amplia. Aún más, si un solo valor se encuentra disperso respecto de los otros, de tal suerte que provoca que la gráfica sea demasiado quebrada, el ensayo deberá repetirse.



GRAFICA 7.1 Curvas Esfuerzo - Penetración con diferentes formas. La forma resultante determinará la necesidad de hacer corrección a los valores de Esfuerzo para 0.1" ó 0.2" de Penetración.

10.2 De la utilidad del ensayo CBR

a. En caso de Aeropuertos el valor de CBR de comparación , deberá ser referido al 100% del Peso Volumétrico Máximo del Proctor de comparación o según indiquen las especificaciones técnicas del proyecto. El CBR de diseño, podrá ser referido al 90% del Proctor de comparación, si así lo piden los requerimientos de calidad del proyecto.

b. Generalmente en todas las especificaciones de proyecto, se requiere que los materiales de sub-rasante posean un CBR mínimo de 20% y los de base un CBR mínimo de 80%.

c. El valor de CBR de un suelo puede ser utilizado como un indicativo de la calidad mismo, así por lo tanto, se observa en la práctica que existe una relación directa entre estos parámetros.

d. Dentro de un proyecto de carreteras, el hecho que un material no cumpla con los requerimientos de CBR para material de base, no implica que su uso deba rechazarse en su totalidad, el Ingeniero Geotecnista, podrá recomendar la adecuación de este material según sean las necesidades existentes en el proyecto.

e. Como un método aproximado, el CBR es utilizado como un método de diseño de espesores de pavimentos. Otros métodos más exactos, como el del Instituto del Asfalto, consideran el valor CBR dentro de sus datos de entrada para el mismo fin.

f. Las especificaciones establecen generalmente que los materiales de préstamo para sub-base deben tener expansiones menores del 2% al cabo de 96 h. de saturación. Asimismo se recomienda que los materiales para bases tengan expansiones menores del 1%. (Fuente : Carreteras, Calles y Aeropistas, Raúl Valle Rodas, Sexta Edición 1976.

ENSAYO N°8 EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS.
REFERENCIAS AASHTO T 176-86
ASTM D 2419-91

1. ALCANCE

Este método de ensayo está diseñado para servir como un ensayo de correlación rápida de campo. El propósito de este ensayo es indicar, bajo condiciones estandarizadas, las proporciones relativas de finos plásticos y polvos finos perjudiciales, presentes en suelos granulares y agregados finos que pasan la malla N°4(4.75 mm).

El propósito de este ensayo no es sustituir la determinación de finos realizada a través de los métodos de ensayo ASTM D 422 o D 1140 (y sus correspondencias en AASHTO), sino más bien servir como un ensayo rápido de campo, que permita evaluar esta característica de los suelos utilizados.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 422-91 Análisis Granulométrico de suelos finos
D 1140-91 Determinación de la cantidad de material fino que pasa la malla N°200

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 88-93 Análisis Granulométrico de suelos finos
T 11-91 Determinación de la cantidad de material fino que pasa la malla N°200

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Un volumen de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculadora son depositados dentro de un cilindro graduado, son agitados para desprender el recubrimiento de finos arcillosos localizados alrededor de las partículas de arena del especímen de ensayo. El especímen es entonces "irrigado" usando una cantidad adicional de solución floculadora, forzando de esta manera a que el material fino arcilloso se ponga en suspensión sobre la arena. Después de un período especificado de sedimentación, se lee sobre el cilindro graduado, la altura de los materiales arcillosos floculados y de la arena. El Equivalente de Arena es la relación que existe entre la altura de la arena y los materiales arcillosos en suspensión, por cien.

4. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la relativa cantidad, la fineza y carácter del material arcilloso presente en el especímen de ensayo.

Un valor mínimo de Equivalente de Arena puede ser especificado para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en un agregado. Este método es una prueba rápida de campo para determinar los cambios en las calidades de agregados durante su producción o colocación.

5. DEFINICIONES

5.1 EQUIVALENTE DE ARENA

Es una medida de la cantidad de limos o arcillas contaminantes presentes en agregados finos o arenas de un suelo. Se expresa como un valor porcentual.

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 Cilindro graduado de plástico transparente, con capacidad para 1000 ml con tapón plástico.

6.2 Medida para la muestra : Pequeño recipiente cilíndrico de hojalata de 85 ± 5 ml de capacidad

6.3 Dos botellones de 1 gal.(3.78 lt) de capacidad, para almacenar las soluciones de Cloruro de Calcio ($CaCl_2$). El tapón de este frasco lleva dos orificios en los cuales se colocan los conductores que forman el sifón..

6.4 Agitador mecánico con montura firme para agitar la probeta y su contenido en posición horizontal. (opcional).

6.5 Reactivos y materiales

Solución de Cloruro de Calcio Anhídrida, 454 g (1 lb) de grado técnico, glicerina USP, 2050 g (1640 ml), aldehido fórmico en solución al 40%, 47 g (45 ml).

Disolver 454 g de cloruro de calcio en 1/2 gal (1.89 lt) de agua destilada. Enfríese y filtrese a través de papel filtro de filtrado rápido (N°12). Agregar 2050 g de glicerina y los 47 g de aldehido fórmico, mezclarla bien y diluirla en 1 gal(3.78 lt).

Preparar la solución de cloruro de calcio de trabajo, diluyendo una medida (ver 6.2) llena de solución de cloruro de calcio almacenada en 1 gal (3.8 lt) de agua destilada o desmineralizada. Se podrá usar agua potable en lugar de agua destilada o desminaralizada siempre que la pureza del agua potable no afecte los resultados. Así entonces el uso del agua desmineralizada o destilada quedará destinada para casos en disputa. Esta solución es la que se usa en el ensayo.

6.6 Misceláneo

Malla N°4, Embudo de boca ancha, bandeja ancha para mezclado, cronómetro.

7. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

7.1 Obtener por lo menos 1500 g. del material que pasa la malla N°4, de la siguiente manera :

7.1.1 Separar la muestra sobre la malla N°4 usando un agitador mecánico que le provea movimientos verticales, horizontales y agitado. Esta acción se realizara hasta que menos del 1% en peso del residuo pase en un tiempo de 1 min. Si la operación de tamizado se realiza a mano debe realizarse en pequeñas porciones, para asegurarse que todo el material quede bien tamizado.

7.1.2 Desmenuzar cualquier grumo de material existente en la fracción gruesa que se esta tamizando por la malla N°4. Puede ser usado un mortero y pistilo u otro equipo que no proporcione una degradación apreciable al agregado.

7.1.3 Remover cualquier recubrimiento de finos adheridos al agregado grueso. Estos finos pueden ser removidos, secando al horno el material grueso(100±5°C), para después dejarlo enfriar para poder frotarlo entre las manos, esto hará que los finos adheridos se desprendan más fácilmente de la superficie de los mismos.

7.1.4 Unir el material que pasó la malla N°4 , obtenido en 7.1.2 y el obtenido en 7.1.3

7.2 Preparar el especimen de ensayo a partir de la porción de la muestra que ha pasado la malla N°4, obtenido en 7.1.1, utilizando el procedimiento indicado en los siguientes pasos:

7.2.1 Cuartear o separar el material lo suficiente para llenar hasta su borde superior, cuatro (4) medidas de hojalata. Si se vuelve necesario, el material se puede humedecer para evitar la segregación o la pérdida de finos durante el cuarteo. Debe tenerse cuidado en la adición de humedad a la muestra, ya que se hace necesario mantener una condición suelta del material que la constituye.

7.2.2 Usando la medida de hojalata, apartar cuatro (4) medidas de la muestra de ensayo. En cada vez que se toma la medida, esta debe enrasarse sobre su orilla superior y luego golpeando suavemente el fondo de la medida sobre la mesa de trabajo por lo menos unas cuatro veces, con el propósito de producir una medida de material consolidado y enrasado sobre su borde superior.

7.2.3 Determinar y registrar la cantidad de material contenido en cada una de estas cuatro medidas. Esto se puede realizar por peso o por volumen en una probeta graduada.

7.2.4 Reintegrar este material a la muestra y proceder nuevamente a cuartear o separar el material realizando los ajustes necesarios para obtener la cantidad predeterminada de este material (el peso o volumen de cuatro medidas de material cuarteado). Durante esta obtención, dos cuarteos sucesivos sin ajustes deberán proveer la cantidad apropiada de material para llenar la medida, cada una de las cuatro veces que se necesitará.

7.2.5 Secar cada especímen de ensayo a temperatura constante de 105±5°C durante 18 a 24 h, luego de lo cual se deja enfriar a temperatura ambiente para poder empezar el procedimiento de ensayo.

7.2.6 Preparar el número de especímenes de ensayo deseados, tomando el material de la muestra, humedeciéndola pero manteniendo una condición suelta, a fin de evitar segregación o perdida de finos.

7.2.7 Separar de 1000 a 1500 g del material. Mezclarlos vigorosamente con una cuchara de mano (llana) dentro de una bandeja circular mantenida en posición horizontal. El mezclado y remezclado deberá mantenerse por lo menos durante un (1) minuto para completarlo uniformemente. Se debe chequear la humedad del material, para lo cual se elabora manualmente un rollo de material, se dice que el rango correcto de humedad se ha logrado, cuando dicho rollo se logra formar sin quebrarse. Si el material esta demasiado seco, el rollo de suelo no se formará y será necesario agregar más agua, remezclar y reensayar hasta que se logre formar el rollo de material. Si el material presenta cualquier cantidad de agua libre se dice que está demasiado húmedo para ser ensayado, por lo tanto tendrá que ser secado al aire, mezclándolo frecuentemente para asegurar su uniformidad. Este material demasiado húmedo podrá formar el rollo cuando se chequea inicialmente, pero el secado debe continuarse hasta que logre formarse dicho rollo con un correcto rango de humedad . Si el contenido de agua a sido alterado para obtener este correcto rango de humedad, la muestra debe ser colocada en una bandeja, cubierta con una tapadera o con una toalla húmeda, que no toque el material y que le permita mantener una condición suelta por un mínimo de 15 minutos.

7.2.8 Después de transcurrido este tiempo se remescla el material por un (1) minuto, sin agregar agua.

7.2.9 Tomar la medida de hojalata con una mano y presionarla directamente contra el material almacenado, esta debe llenarse con material consolidado, para lo cual será necesario hacer presión sobre el material que se recoge con la misma, enrasandola con una espátula cuando esta se ha llenado completamente. Durante el enrasado se debe hacer presión sobre el material contenido en la medida de hojalata hasta que el material se encuentre a nivel de la orilla de la medida.

7.2.10 Remezclar el material bajo las mismas condiciones realizadas en el paso 7.2.8

7.2.11 Para obtener los otros especímenes de ensayo se repite el procedimiento descrito en los pasos 7.2.9 y 7.2.10.

8. PREPARACIÓN DEL APARATO

8.1 Ajustar el ensamble del sifón al bote de 1 gal. (3.8 lt) que contiene la solución de trabajo de cloruro de calcio y colocar dicho bote sobre un estante o repisa que se encuentre a 3 pies ± 1 pul.(91.4 ± 2.5 cm) sobre la mesa de trabajo.

8.2 Hacer funcionar el sifón, soplando fuertemente dentro del bote que contiene la solución, en la cual se encuentra sumergida una pequeña pieza del tubo a la vez que se habre la pinsa colocada para presionar el tubo. Cualquiera que sea el método para operar el agitador del equivalente de arena, se sujetará el aparato a una base firme y nivelada .

9. PROCEDIMIENTO

9.1 Con el sifón se introducen a la probeta 4 ± 0.1 pul (101.6 ± 2.54 mm) (indicados sobre la probeta graduada) de solución de calcio.

9.2 Colocar uno de los especímenes de ensayo dentro de la probeta plástica graduada usando un embudo para evitar derramamiento de solución al momento de introducir el especímen.

9.3 Conectar la probeta al agitador, si es que esta acción se realiza con agitador de malla y permitir que el especímen anteriormente colocada se humedezca lo mejor posible.

9.4 Permitir que el especimen se humedezca bien, durante un tiempo de 10 ± 1 min, dentro de la probeta.

9.5 Al final de este período de remojo, se taponea la probeta para remover el material del fondo, usando un agitado mecánico, con agitador manual o agitado manual. En este procedimiento se usará el último de estos..

9.6 Después que el material se ha removido del fondo de la probeta, esta se sacude vigorosamente en forma horizontal de tal forma que el contenido se mueva de extremo a extremo. Esta acción de sacudido debe realizarse en 90 ciclos durante un tiempo aproximado de 30 s. Un ciclo es definido como un movimiento completo de vaivén.

9 .7 Logrado el agitado, se coloca la probeta sobre la mesa de trabajo y se remueve el tapón.

9.8 Una vez colocada sobre la mesa, se procede a irrigar el cilindro sobre sus paredes, introduciendo la manguera que está conectada a la botella con la solución de cloruro de calcio para que la solución que cae sobre sus paredes arrastre hacia el fondo todos los residuos adheridos a las mismas. Los finos se depositarán sobre las partículas gruesas. La irrigación debe suspenderse hasta que el nivel de la solución alcance las 15 pul. indicadas sobre la probeta.

9.9 Logrado este nivel se levanta lentamente el tubo irrigador, durante esta operación el nivel de las 15 pul. debe mantenerse exactamente sobre la marca que las indica. Para esto debe regularse el flujo del tubo haciendo uso de la pinza que lo presiona.

9.10 Dejar que la probeta y su contenido reposen sobre la mesa de trabajo, durante un tiempo de 20 min ± 15 s. El cronómetro debe activarse inmediatamente que se termina la acción de irrigado.

9.11 Cuando ha transcurrido este tiempo de sedimentación, se lee y se registra el nivel de las arcillas suspendidas en la forma que se indica en el paso 9.14. Esta es referida como la lectura de arcillas. Si después de los 20 min de sedimentación la lectura de arcillas no puede ser hecha por indefinición de la línea de su superficie, debe permitirse más tiempo de sedimentación (no mayor de 30 min), si es mayor que 30 min. se vuelve a repetir el procedimiento usando otro de los especímenes preparados durante la preparación de la muestra.

9.12 Después de haber hecho la lectura de arcillas, introducir dentro de la probeta el conjunto del contrapeso y la varilla de manera que su guía corredera queda en la boca de la probeta. Bajar suavemente el conjunto hasta que llegue a reposar

sobre la arena. Al tiempo de bajarse el conjunto, debe mantenerse siempre uno de los tornillos de centraje del disco en contacto con la pared de la probeta sobre las marcas de la misma, de tal manera que sirva de índice de lectura. Cuando el conjunto acabe de pasarse sobre la arena, se lee el nivel del tornillo de centraje y se registra esta lectura como Lectura de Arena. Esta lectura se hará con aproximación de 0.1 pul.

9.13 Cuando se esta registrando la lectura de arena se debe tener cuidado de no presionar la guía hacia abajo para no obtener lecturas erróneas.

9.14 Si las lecturas de arcilla o arena caen entre las graduaciones de 0.1 pul, se deberá registrar el nivel superior inmediato correspondiente. Por ejemplo, un nivel de arcilla de 7.95 se registra como 8.0. Un nivel de arena de 3.22 se registra como 3.3.

10. CALCULO

10.1 Para calcular el valor del Equivalente de Arena con aproximación de décimas, se aplica la siguiente Ec. 8.1. :

$$E.A. = \frac{\text{LECTURA DE ARENA}}{\text{LECTURA DE ARCILLA}} \times 100$$

11. INFORME

Además de la información general del material ensayado, el informe de laboratorio debe incluir :

12.1 El valor del Equivalente de Arena (E.A.)

12. EJEMPLO DE CALCULO

Dados los siguientes valores de equivalente de arena : 41.2, 43.8 y 40.9. Determinara el valor de Equivalente de Arena correspondiente a estas tres lecturas.

1. Redondear los valores fraccionarios al número inmediato superior :

41.2 = 42 43.8 = 44 40.9 = 41

$$E.A. = \frac{42 + 44 + 41}{3} = 42 . 3$$

E.A. = 43 %

13. COMENTARIOS

13.1 Del proceso de ensayo

a. La ejecución de este ensayo requiere que el Laboratorista tenga experiencia, de manera que pueda obtener resultados consistentes y satisfactorios con muestras representativas de cualquier clase de material, cuando el ensayo se realiza de acuerdo a lo prescrito.

b. Se considera un Laboratorista con experiencia, cuando los resultados obtenidos por éste, en tres ensayos independientes, con el mismo material representativo, no varíe en más de ± 4 puntos con respecto al promedio de estos ensayos.

c. Debe tenerse especial cuidado, en la fase de selección de la muestra de ensayo, ya que esta debe ser tomada de la parte del acopio de materiales en donde no se ha producido segregación de partículas gruesas.

13.2 De la utilidad del ensayo Equivalente de arena

a. Generalmente las especificaciones de materiales, indican los valores máximos permisibles para la aceptación de un material. Estos valores varían dependiendo del propósito del material ensayado.

b. El valor de Equivalente de Arena, será una herramienta más para la evaluación de calidades de materiales.

c. Este método de ensayo, es una manera rápida de campo de determinar los finos presentes en suelos granulares y agregados finos que pasan la malla N°4 (4.75 mm).

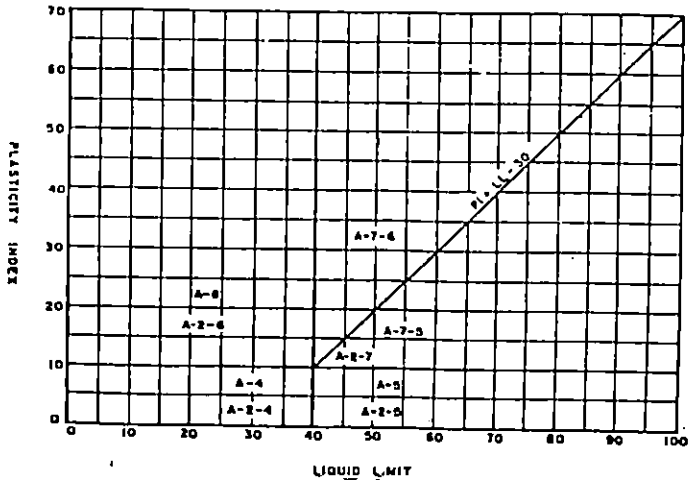
ANNEX I

General Classification	Granular Materials (35% or Less Passing 0.075 mm)			Silt-Clay Materials (More than 35% Passing 0.075 mm)			
Group Classification	A-1	A-3[a]	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7
Sieve analysis, percent passing:							
2.00 mm (No. 10)	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	25 max.	10 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)							
Liquid limit	—	—		40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.	N.P.	[b]	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
General rating as subgrade	Excellent to good			Fair to poor			

[a] The placing of A-3 before A-2 is necessary in the "left to right elimination process" and does not indicate superiority of A-3 over A-2.

General Classification	Granular Materials (35% or Less Passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% Passing 0.075 mm)			
Group Classification	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)											
Liquid limit	—		—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.[a]
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General Ratings as Subgrade	Excellent to Good							Fair to poor			

[a] Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Figure 2).



Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)				Símbolo del grupo[a]	Nombres típicos	Información necesaria para la descripción de los suelos	Criterios de clasificación en el laboratorio	
Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz No. 200[b] (La abertura del tamiz No. 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Gravas-Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz No. 4 (Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz No. 4 equivale a medio centímetro)	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	*GW*	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	Dese el nombre típico; indíquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, estado superficial y dureza de los granos gruesos; el nombre local o geológico y cualquier otra información o descripción pertinente y el símbolo entre paréntesis	Determínense los porcentajes de grava y arena a partir de la curva granulométrica Según el porcentaje de finos (fracción que pasa por el tamiz No. 200) los suelos gruesos se clasifican como sigue: *GW, GP, SW, SP, GM, GC, SM, SC* *Casos límites* que requieren el empleo de símbolos dobles	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor de 4; $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	*GP*	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos			No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las *GW*
		Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo *ML* más abajo)	*GM*	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compacidad, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje		Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o I_p menos de 4
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo *CL* más abajo)	*GC*	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla			Límites de Atterberg por encima de la línea "A" con I_p mayor de 7
	Arenas-Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4.	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios	*SW*	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	Ejemplo: *Arena limosa*, con grava; aproximadamente un 20% de partículas de grava angulosa de 1.5 cm de tamaño máximo; arena gruesa a fina, con partículas redondeadas o subangulosas; alrededor del 15% de finos no plásticos, con baja resistencia en estado seco compacta y húmeda *in situ*; arena aluvial; *(SM)*		$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor de 6; $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	*SP*	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos			No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las *SW*
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo *ML* más abajo)	*SM*	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas			Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o I_p menos de 4
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo *CL* más abajo)	*SC*	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arena y arcillas			Límites de Atterberg por debajo de la línea "A", con I_p mayor de 7
Suelos de grano fino-Más de la mitad del material pasa por el tamiz No. 200	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz No. 40.						Utilícese la curva granulométrica para identificar las fracciones de suelo indicadas en la columna de identificación en el campo	
	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la disgregación)	Dilatancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)				
		Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	*ML*	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	Dese el nombre típico; indíquese el grado y carácter de la plasticidad; la cantidad y el tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, olor si lo tuviere, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis	
		Media a alta	Nula a muy lenta	Media	*CL*	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras		
		Ligera a media	Lenta	Ligera	*OL*	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia, tanto en estado inalterado como remoldeado, condiciones de humedad y drenaje	
	Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligera a media	*MH*	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, limos elásticos		
		Alta a muy alta	Nula	Alta	*CH*	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas gruesas		
		Media a alta	Nula a muy lenta	Ligera a media	*OH*	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	Ejemplo: *Limo arcilloso*, marrón; ligeramente plástico; porcentaje reducido de arena fina; numerosos agujeros verticales de raíces; firme y seco *in situ*; loes; *(ML)*	
Suelos altamente orgánicos		Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			*Pt*	Turba y otros suelos altamente orgánicos		

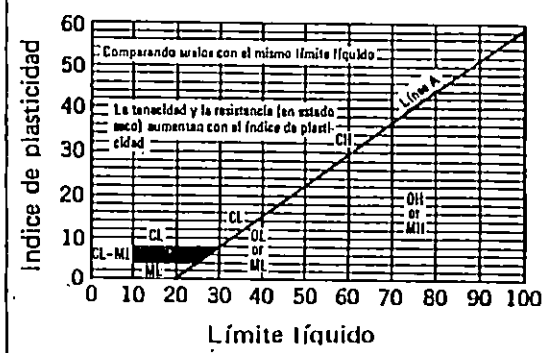


Gráfico de plasticidad para la clasificación en laboratorio de suelos de grano fino

Según Wagner, 1957.

[a] *Casos límites*. Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo, *GW-GC*, mezcla bien graduada de arena y grava en una matriz arcillosa.

[b] Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard.

Métodos de identificación en el campo de suelos o fracciones finas

Estos procedimientos se realizan con las partículas que pasan por el tamiz No. 40 (aproximadamente 0.4 mm). A fines de clasificación en el campo no es necesario el tamiz, basta con eliminar a mano las partículas gruesas que estorban para la prueba.

Dilatancia (reacción a la agitación):

Después de eliminar las partículas de tamaño superior al del tamiz No. 40, se prepara una pastilla de suelo húmedo de un volumen aproximado de 10 cm^3; si es necesario añádase agua suficiente para dejar el suelo blando pero no pegajoso.

Colóquese la pastilla en la palma de la mano y agítese horizontalmente, golpeando vigorosamente varias veces contra la otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual adquiere una consistencia gelatinosa y de aspecto brillante. Cuando se aprieta con los dedos, el agua y el brillo desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve dura y por último se resquebraja o desmorona. La rapidez de aparición del agua en la agitación y de desaparición al apretarla sirven para identificar el carácter de los finos de un suelo.

Las arenas limpias muy finas dan la reacción más rápida y clara mientras que una arcilla plástica no presenta reacción. Los limos inorgánicos, como un polvo de roca típico, muestran una reacción moderadamente rápida.

Resistencia en estado seco (a la disgregación)

Después de eliminar las partículas que no pasan por el tamiz No. 40, se moldea una pastilla de suelo hasta alcanzar la consistencia de una masilla, añadiendo agua si es necesario. Se deja secar completamente la pastilla en una estufa o expuesta al sol y al aire, probando después su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida del carácter y proporción en la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia (en estado seco) aumenta con la plasticidad.

Una elevada resistencia (en estado seco) es característica de las arcillas del grupo CH. Un limo inorgánico típico posee una resistencia (en estado seco) muy ligera. Las arenas finas limosas y los limos tienen aproximadamente la misma resistencia (en estado seco) ligera pero pueden distinguirse por el tacto al pulverizar la muestra seca. La arena fina tiene tacto granular mientras que el limo típico da la sensación suave de la harina.

Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico):

Después de eliminar las partículas retenidas en el tamiz No. 40, se moldea una muestra de aproximadamente 10 cm^3 hasta alcanzar la consistencia de masilla. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, pero si está pegajoso debe extenderse formando una capa delgada que permita una cierta pérdida de humedad por evaporación. Posteriormente se arrolla con la mano sobre una superficie lisa o entre las palmas de las manos, formando un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro, amasándolo y volviéndolo a arrollar varias veces. Con estas operaciones el contenido de humedad se reduce gradualmente y la muestra adquiere una consistencia dura, acaba perdiendo su plasticidad y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico.

Después de desmoronarse el cilindro se vuelven a agrupar los trozos, continuando el amasado ligeramente hasta que se vuelve a desmoronar.

Cuanto más tenaz es el rollito cerca del límite plástico y cuanto más duros son los trozos al desmoronarse, más importante es la fracción arcillosa coloidal del suelo. La debilidad del rollito en el límite plástico y la rápida pérdida de coherencia de los trozos por debajo de dicho límite indican, bien una arcilla inorgánica de baja plasticidad o materiales como las arcillas del tipo caolín o las arcillas orgánicas que se encuentran por debajo de la "línea A".

Las arcillas altamente orgánicas dan un tacto muy blando y esponjoso al llegar al límite plástico.

CAPITULO III

MATERIALES PETREOS

I.1 GENERALIDADES

Al establecer un tipo o clase de estructura de un pavimento, hay que considerar tres aspectos importantes :

1. Tipos de agregados y granulometrías
2. Tipos de ligantes
3. Métodos de construcción

Estos tres elementos dependen entre sí y cada uno influencia en la elección de los otros dos.

El agregado mineral o material pétreo puede ser definido como un material granular de composición mineralógica específica, los cuales son usados con un cementante para formar morteros o concretos, o que pueden usarse solos para conformar bases de caminos, balastreado de lineas ferroviarias, etc. Entre estos se encuentran la arena, grava y escória.

Este Capítulo está dedicado al estudio de diversos tipos de materiales petreos, ya que en este caso, nuevamente se vuelve necesario el análisis y control , a través de ensayos de laboratorio, de los cuales se puedan obtener los valores representativos de sus propiedades y características físicas, para poder aceptarlos o adaptarlos al proyecto, segun los requerimientos de calidad del mismo. La parte de los tipos de ligantes, sera discutida en el Capítulo siguiente.

I.1.1 TIPOS DE AGREGADOS

En las superficies de los pavimentos, el agregado contribuye a su estabilidad mecánica, soporta el peso del tráfico y al mismo tiempo transmite las cargas a la base a una presión unitária reducida.

Los distintos tipos de agregados granulares corrientemente encontrados y adecuados para superficies de pavimentos pueden ser clasificados como sigue :

a. Arena
b. Grava natural
c. Piedra triturada.

I.1.1.a Arena

Para los propósitos de este trabajo se entenderá como arena, aquel material que pasa por el tamíz N°4 y que se retiene en la malla N°200.

En El Salvador, la mayoría de especificaciones de proyecto son señaladas en ese sentido, es decir que se considera a la malla N°4 como frontera entre las gravas y las arenas.

I.1.1.b Grava natural

Es la producida por la desintegración natural de las rocas y se encuentra en volumenes relativamente grandes en los llamados Bancos de Prestamo. Como ya se indicó, es de mayor tamaño que la arena y se separan mediante la malla N°4. En ocasiones esta división puede ascender hácia la malla de 1/4".

Los distintos tipos de gravas usadas en carreteras pueden ser de rio y grava de mina; la primera de estas se encuentra casi en la totalidad de los torrentes de los rios y consiste en fragmentos de roca parcialmente redondeados, suavizados y entremezclados con arena de río y libres, generalmente de arcilla; por su parte la grava de mina se encuentra en depósitos naturales, compuestos generalmente de un material pedregoso entremezclado con arena fina y arcilla. Los depósitos difieren ámpliamente en cuanto a la proporción de material fino o grueso.

I.1.1.c Piedra triturada

La piedra triturada puede producirse en cualquier graduación que se desee, empleando los distintos tipos existentes de trituradoras (de quijada o de martillo) y cribas clasificadoras. Es conveniente obtener trozos de forma cúbica al machacar la roca, pero algunas piedras, especialmente las sedimentarias, que están estratificadas, se presentan en forma de lajas, por cuya razón su uso no es conveniente.

Resumiendo, en muchos casos algunas de las direrentes clases de agregados enumerados se combinan para dar una granulometría que tenga características deseables o necesarias para un determinado uso. En otros casos un solo agregado puede tener la granulometría requerida. Tiene gran importancia la graduación de los agregados, pues ello influye fundamentalmente en la estabilidad mecánica de las mezclas para pavimentos.

Los agregados constituyen un elemento costoso en los presupuestos de construcción de carreteras, ya que uno de los factores más importantes es el costo de estos materiales y su transporte desde los bancos de prestamo hasta el sitio de la obra. Por consiguiente, al seleccionar un agregado siempre debe buscarse su economía en relación con la clase de servicio que ha de prestar la carretera. Deben tenerse en consideración los agregados que se encuentren en la localidad y estudiar su costo de preparación frente al de los agregados que se encuentran a mayor distancia y sus altos costos de transporte.

En este Capítulo se estudiaran doce (12) ensayos de laboratorio, con el propósito de evaluar los materiales, en base a aquellos parámetros más usados para el control de calidad de los mismos. A continuación se presentan consideraciones generales sobre cada uno de los ensayos a desarrollar en este Capítulo.

I.1.2 GRANULOMETRIA

Como ya se mencionó en el CAPITULO II, la granulometría de un material mediante el método mecánico, se realiza utilizando cribas de abertura cuadrada, colocadas en orden descendente, segun su tamaño. Asi por lo tanto para granulometrías de agregados gruesos (retenido en la malla N°4) se tendrá un juego de mallas diferente al requerido para la granulometría del agregado fino (arena : pasa la malla N°4).

Cuando se trata de agregados gruesos o finos, es recomendable especificar los límites permisibles en cuanto a los porcentajes de cada tamaño presentes en el conglomerado y al tamaño máximo requerido para un trabajo específico, dado que estas características afectan las proporciones relativas de los agregados, así como tambien el aglutinante (y agua para el caso de concreto hidráulico) necesario, la manejabilidad, la economía y la densidad del concreto elaborado. Las variaciones en la gradación pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas producen mezclas con frecuencia muy costosas, mientras que las arenas muy gruesas pueden producir mezclas muy ásperas y poco manejables. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño, con curvas granulométricas parejas, producen mezclas con excelentes condiciones de Densidad.

La granulometría más conveniente para el agregado fino depende del tipo de trabajo, riqueza de la mezcla (cantidad de aglutinante) y tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas pobres o cuando se usan agregados gruesos de tamaño pequeño, es conveniente una granulometría que se aproxime lo más posible al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada malla, para así aumentar la manejabilidad. En mezclas ricas, por economía, son más convenientes las granulometrías gruesas. Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas Nos. 50 y 100 , afectan la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados y la textura superficial de la mezcla colocada.

La granulometría de un agregado grueso de un tamaño máximo dado puede variar dentro de un rango relativamente ámplio de valores sin producir efecto apreciable en las cantidades necesarias de aglutinante (y de agua en concretos hidráulicos), si la proporción de agregado fino produce concretos manejables.

El tamaño máximo del agregado grueso usado influye en la economía. Asi por ejemplo en concretos hidráulicos, usualmente se necesita más agua para los agregados de tamaño pequeño que para los tamaños más grandes, cuando se busca producir una

trabajabilidad dada, requiriéndose menos cemento al aumentar el tamaño máximo del agregado grueso.

I.1.3 DESGASTE

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado. Esta característica es esencial cuando el agregado se va a usar en concreto sujeto a desgaste por abrasión, como lo es el caso de los pavimentos.

Como ya se mencionó en el CAPITULO II el método de prueba más común para la resistencia al desgaste es el que usa la máquina de Los Angeles. Las especificaciones fijan a menudo el límite superior de esta pérdida de peso. Sin embargo, investigaciones han demostrado que, los resultados de las pruebas de desgaste Los Angeles de los agregados con los determinados mediante el método para medir las propiedades Friccionantes de la Superficie, usando el Péndulo Británico (prueba del zapato o Skin Friction, ASTM E 303- 83) no muestran una correlación directa.

I.1.4 SANIDAD

La Sanidad es una propiedad que mide la establidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insactisfactorios como áridos para mezclas de rodadura en pavimentos, especialmente cuando estos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos.

El ensayo de Sanidad se realiza sumergiendo la piedra en una solución saturada de sulfato de sódio o de magnesio hasta saturación total y secándola en una estufa u horno alternativamente; este proceso de saturacióna y secado forma un ciclo. Una piedra inestable se desintegra, se divide en trozos, se agrieta o desprende escamas después de muy pocos ciclos.

I.1.5 EQUIVALENTE DE ARENA

La limpieza y pureza de los áridos suele determinarse a veces por observación visual, pero un cribado por vía húmeda proporciona en todos los casos una prueba positiva. Son materiales recusables la vegetación, pizarra, partículas blandas, masas de arcilla y revestimiento de arcillas de las partículas gruesas.

El ensayo de equivalente de arena ha obtenido gran popularidad como medio de descubrir el exceso de arcilla en los áridos. En efecto, este ensayo es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena. Las proporciones relativas de los dos tipos de material se comparan volumétricamente de un modo arbitrario por un procedimiento que tiende a ampliar el volumen de arcilla en proporción a sus efectos perjudiciales.

I.1.6 PARTICULAS PLANAS Y ACHATADAS

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influye en las propiedades del concreto colocado. En concreto hidráulico, las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Sin embargo,
cuando la gradación es buena, tanto los agregados triturados como los no triturados generalemente dan resistencias muy aproximadas entre sí cuando se ha dosificado adecuadamente el contenido de aglutinante.

I.1.7 SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN AGREGADOS (IMPUREZAS ORGANICAS).

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presente en los agregados incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas blandas y ligeras. La mayor parte de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias en los agregados.En la TABLA 3.1 se presenta una lista de los efectos de la presencia de sustancias perjudiciales en los agregados para pavimentos.

TABLA 3.1 Sustancias perjudiciales en los agregados y sus efectos. Fuente : Proyecto y Control de Mezclas de Concreto, PCA, 1987

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	EFECTO SOBRE LA MEZCLA
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y endurecimiento de la mezcla, pueden producir deterioro.
Materiales más finos que la malla N°200.	Afectan la adherencia y en concreto hidráulico aumentan la cantidad de agua necesaria.
Carbón de piedra, lignito y otros materiales ligeros.	Afectan la durabilidad
Partículas blandas	Afectan la durabilidad
Partículas frágiles	Afectan la manejabilidad y durabilidad.

Los materiales más finos que la malla N°200, especialmente el limo y la arcilla, plueden estar presentes como polvo o pueden estar en la forma de recubrimiento de las partículas del agregado. Aun cuando delgadas capas de éstos, cubran las partículas de grava, puede haber peligro porque debilitan la adherencia entre el aglutinante y las partículas del agregado.

I.1.8 GRAVEDAD ESPECIFICA, ABSORCION Y HUMEDAD SUPERFICIAL

La Gravedad Específica se usa en algunos cálculos para el control y proyecto de mezclas, por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. La mayor parte de los agregados de peso normal, tienen Gravedades Específicas comprendidas entre 2.4 y 2.9.

La absorción y la humedad superficial de los agregados deben determinarse, de manera que la proporción de agua en el concreto pueda controlarse y se puedan determinar los pesos correctos en las mezclas. La estructura interna de las partículas está formada por materia sólida y huecos que pueden contener agua o no.

I.1.9 PESO UNITARIO Y VACIOS EN LOS AGREGADOS

El Peso Unitario o Peso Volumétrico de un agregado es el peso del material necesario para llenar un recipiente de un pie cúbico. Se usa el término "peso volumetrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y los huecos entre sus partículas. Los métodos para determinar los Pesos Unitários de los agregados pueden ser suelto y varillado. Los resultados dependen del método usado.

I.2 GENERALIDADES Y ESPECIFICACIONES GENERALES

A continuación se presentan una serie de comentarios y especificaciones para los materiales pétreos a utilizara en un proyecto de carreteras :

1.2.1 GENERALIDADES

1. La porción de los agregados retenida en la malla N°4, se designa como agregado grueso y debe componerse de piedra triturada, escória triturada o grava tamizada o de una combinación de los mismos. Mientras que la porción de los agregados que pasan la misma malla, se designa como agregado fino y se compondrá de arena natural y/o material obtenido de la trituración de piedra, grava o escória o de una combinación de los mismos.

2. Los agregados gruesos, deben ser límpios, duros y durables, no estarán recubiertos ni tener grumos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales. Los acópios destinados a capas de superficie, deberán estar cubiertos para prevenir una posible contaminación.

3. Cuando la granulometría de los agregados gruesos tiende a la segregación durante el acópio o manipulación, deberá suministrarse el material en dos o más tamaños separados.

4. De ser necesario en la mezcla de dos o más agregados gruesos o finos, el mezclado deberá hacerse a través de tolvas separadas y en los alimentadores en frío y no en el acópio.

5. No menos del 40% en peso del material retenido en el malla N°4, deberá tener por lo menos una cara fracturada.

6. Si los agregados se usaran en mezclas asfálticas abiertas, por lo menos el 90% en peso de las gravas retenidas en la malla N°4, deberan tener al menos una o más caras fracturadas y el 75% en peso, dos o mas caras fracturadas.

7. Si el agregado fino, tiene una variación mayor de ± 0.25 del Módulo de Finura, del material representativo, éste sera rechazado.

8. Los materiales a usarse en la carpeta, base y sub-base deben ser NO PLASTICOS en su Límite Plástico.

9. Si la superficie de rodadura será conformada con agregados gruesos no tratados (sin asfalto), el Indice de Plasticidad de éstos podrá variar de 4 a 12%.

10. Para materiales de sub-base, base y superficie sin tratamiento, la fracción que pasa la malla N°200 no debera ser mayor que dos veces la que pasa la malla N°40.

11. No se utilizarán en capas de superficie, agregados con tendencia a pulimentarse por acción del tráfico.

12. Los agregados gruesos deberán cumplir con los siguientes requerimientos de Desgaste por Abrasión determinado con la máquina de Los Angeles.

Las FP-92 indíca los siguientes valores de Desgaste para meteriales a utilizarse en las distintas capas de un Pavimento. Estos valores son los siguientes :

MATERIAL DE	% DESGASTE MAXIMO
Carpeta de rodadura	40
Base	50
Sub-base	50

1.2.2 ESPECIFICACIONES GENERALES

1.2.2.1 BASE DE AGREGADOS TRATADOS CON EMULSION ASFALTICA

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	35% máx.
b.	Límite Líquido	No Plástico
c.	Límite Plástico	No Plástico
d.	Caras Fracturadas	50% máx
e.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.

1.2.2.2 AGREGADO PARA CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"(superficie)	40% máx.
b.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"(base)	50% máx (+)
c.	Límite Líquido	No Plástico (+)
d.	Límite Plástico	No Plástico (+)
e.	Caras Fracturadas	75% máx min
f.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.
g.	Equivalente de arena(material fino)	45% mín.

1.2.2.3 AGREGADO PARA CONCRETO ASFALTICO EMULSIFICADO

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	40% máx.
b.	Límite Líquido	No Plástico (+)
c.	Límite Plástico	No Plástico (+)
d.	Caras Fracturadas	75% máx min
e.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.

1.2.2.4 AGREGADO PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON ASFALTO

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	40% máx.
b.	Límite Líquido	25% máx
c.	Indice de plasticidad	No Plástico
d.	Caras Fracturadas	75% máx min
e.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.

1.2.2.5 SUB-BASE, BASE Y SUPERFICIE DE AGREGADOS NO TRATADOS (SIN ASFALTO)

SUB-BASE

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	50% máx.
b.	Límite Líquido	25% máx
c.	Límite Plástico	No Plástico
d.	Caras Fracturadas	50% máx
e.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.

f. La graduación de estos materiales deberá ser conforme a las especificadas en la TABLA 3.6, GRAD. A, B, C, D, E, o F.

BASE

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	50% máx.
b.	Límite Líquido	25% máx
c.	Límite Plástico	No Plástico
d.	Caras Fracturadas	50% máx
e.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	12% máx.

f. La graduación de estos materiales deberá ser conforme a las especificadas en la TABLA 3.6, GRAD. A, B, C, D, E, o F.

SUPERFICIE

a.	Desgaste por abrasión "Los Angeles"	50% máx.
b.	Límite Líquido	25% máx
c.	Indice de Plasticidad	4 - 12%
d.	Sanidad en Sulfato de Sódio(5 ciclos)	15% máx.

f. La graduación de estos materiales deberá ser conforme a las especificadas en la TABLA 3.6, GRAD. C, D, E, o F.

1.2.2.6 AGREGADOS FINOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

1.2.2.6.1 CARACTERISTICAS GENERALES.

a. El agregado fino es aquel que pasa completamente las mallas de 3/8" (9.5 mm) y la N°4 (4.75 mm); éste podrá estar constituido por arena nataural o arena preparada, proveniente de la fracturación de la roca o grava. Debe estar constituida de granos duros, resistentes, libres de arcillas u otras sustancias deletereas.

b. El Módulo de Finura de una fuente a otra no debe tener variaciones mayores de 0.25, cuando el material será usado en la base de un pavimento.

c. El Indice de Plasticidad de la fracción que pasa la malla N°40 (0.425 mm) deberá ser NO PLASTICO.

1.2.2.7 AGREGADOS GRUESOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

1.2.2.7.1 CARACTERISTICAS GENERALES

a. El agregado grueso deberá consistir de piesas duras, fuertes y durables y libres de recubrimientos de arcillas. No deberá contener más del 1.0% de grumos de arcillas y partículas desmenuzables, definiendose las partículas desmenuzables como aquellas que se pueden desintegrar mediante la presión de los dedos, después que éstas han sido saturadas durante un período de 20 a 24 h.

b. La graduación deberá estar conforme a los requerimientos de la especificación ASTM D - 448-86(1993) o AASHTO M 43 - 88, cuyos valores se incluyen en este trabajo como TABLA ANEXA II.

c. El tamaño a ser usado, depende de la composición escogida para la mezcla bituminosa a utilizar.

d. Otras graduaciones podrán ser elaboradas a través de la combinación de agregados gruesos y filler. En estos casos el productor deberá proveer todas las características granulométricas de esta combinación de agregados.

e. Para mezclas convencionales , no menos del 40% en peso de las piezas de gravas retenidas sobre la malla N°4, deberán tener por lo menos una (1) cara fracturada.

f. Para mezclas abiertas, no menos del 90% en peso de las piezas de gravas retenidas sobre la malla N°4, deberán tener una (1) o más caras fracturadas y 75% en peso dos (2) o más caras fracturadas.

TABLA 3.2 Requisitos mínimos y máximos para materiales de Base y Sub-Base no tratadas (sin asfalto).
FUENTE : Instituto Norteamericano del Asfalto, MS-1, 1993

Ensayo	Requerimiento de Ensayo	
	Sub-Base	Base
CBR, mín.	20	80
Límite Líquio,máx.	25	25
Indice Plástico,máx	6	NP
Pasa mall N°200,máx	12	7

TABLA 3.2 Rango de valores para Gradación Optima de Base bajo carpeta asfáltica. Las desviaciones permisibles (±) para los valores óptimos, son mostrados entre parentesis. FUENTE : AASHTO T 27 y T 11, 1993

Diámetro de malla	Porcentaje que pasa (por peso)		
	Gradación tipo		
	C	D	E
2 pul(50 mm)	100		
1 1/2pul(37.5mm)	97 - 100	100	
1 pul(25 mm)		97 - 100	100
3/4 pul(19mm)	67 - 81(6)		97 - 100
3/8 pul(9.5mm)		56 - 70(7)	67 - 79(6)
N°4(4.75mm)	33 - 47(6)	39 - 53(6)	47 - 59(7)
N°40(0.425mm)	10 - 19(4)	12 - 21(4)	12 - 21(4)
N°200(0.075mm)	4 - 8(3)	4 - 8(3)	4 - 8(3)

TABLA 3.3 Rango de valores para gradación óptima de Sub-base bajo carpeta asfáltica. Las desviaciones permisibles (±) para los valores óptimos, son mostrados entre parentesis. FUENTE : AASHTO T 27 y T11, 1993

Diámetro de la malla	Porcentaje que pasa (por peso)	
	Gradación Tipo	
	A	B
2 1/2 pul(63mm)	100	
2 pul(50 mm)	97 - 100	100
1 1/2pul(37.5mm)		97 - 100
1 pul(25 mm)	65 - 79(6)	
1/2 pul((12.5mm)	45 - 59(7)	
N°4 (4.75mm)	28 - 42(6)	40 - 60(8)
N°40 (0.425mm)	9 - 17(4)	
N°200 (0.075mm)	4 - 8(3)	0 - 12

TABLA 3.4 Rango de valores para la gradación óptima de Bases tratadas con emulsión asfáltica. Las desviaciones permisibles (±) para los valores óptimos, son mostrados entre parentesis. FUENTE : AASHTO T 27 y T11, 1993.

Diámetro de malla	Porcentaje que pasa (en peso)	
	Tipo de Gradación	
	A	B
1 1/2" (37.5mm)	100	-----
1" (25.0 mm)	97 - 100	100
3/4"(19 mm)	----	97 - 100
1/2 " (12.5 mm)	----	30 - 40 (6)
N°10 (2 mm)	0 - 4 (3)	0 - 4 (3)
N° 200(0.075mm)	0 - 1 (1)	0 - 1 (1)

TABLA 3.5 Rango de valores para gradación óptima, de concretos asfálticos en caliente (Carpeta de Superficie). Las desviaciones permisibles (±) para los valores óptimos, son mostrados entre parentesis. FUENTE : AASHTO T 27 y T11, 1993

Diámetro de la malla.	Porcentaje que pasa (por peso)			
	Gradación Tipo			
	C	D	E	F
1pul(25mm)	100			
3/4pul(19mm)	97 - 100	100		
1/2pul(12.5mm)	76 - 88(5)	97 - 100		
3/8pul(9.5mm)	-----	-----	100	100
N°4(4.75mm)	49 - 59(7)	57 - 69(6)	97 - 100	33 - 47(6)
N°8(2.36mm)	36 - 45(5)	41 - 49(6)	62 - 81(5)	7 - 13(4)
N°30(0.600mm)	20 - 28(4)	22 - 30(4)	28 - 44(4)	-----
N°50(0.300mm)	13 - 21(3)	13 - 21(3)	18 - 31(3)	------
N°200(0.075mm)	3 - 7(2)	3 - 8(2)	7 - 16(2)	2- 4(2)

TABLA 3.6 Rango de valores para la gradación óptima de materiales de Sub-Base, Base y Superficie granular no tratada. FUENTE : AASHTO M 147 - 65(1993).

Malla		Porcentaje en peso que pasa.					
mm	pul	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F
50.0	2.0	100	100	----------	---------	----------	----------
25.0	1.0	----------	75 - 95	100	100	100	100
9.5	3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60-100	----------	----------
4.75	N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 -100	70 -100
2.00	N°10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 -100	55 -100
.425	N°40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
.075	N°200	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

I.3. ANEXOS

A continuación se anexan las TABLAS DE ESPECIFICACIONES para materiales pétreos a usar en pavimentación, recomendados por AASHTO y ASTM.

En los casos en que ámbas especificaciones indiquen los mismos valores para el mismo tipo de material, se anexará unicamente una de estas dos.

Por otro lado, estos ANEXOS aparecen en Ingles, a fin de que el lector pueda conocer la forma en que estas TABLAS DE ESPECIFICACIONES aparecen en los textos editados por cada una de estas oficinas.

Sería importante que, en caso de considerarse este trabajo como guía texto, en el desarrollo de la clase "Laboratorio de Pavimentos", se explicara a los estudiantes, la forma en que la información de ámbas oficinas esta proporcionada en éstos mismos. Así por ejemplo, el Volúmen de ASTM en lo relativo a Pavimentos, debe buscarse como ANNUAL BOOKS of ASTM STANDARDS, SECTION 4 CONSTRUCTION, VOLUME 04.03, Road and Paving Materials; Paving Management Technologies.

Por su lado la AASHTO, incluye todas las áreas de materiales, como CONCRETO, SUELOS, PAVIMENTOS, etc. en un solo libro, con la salvedad de que esta oficina, incluye las Especificaciones para todo tipo de material en la PARTE I (PART I) y los ensayos en la PARTE II (PART II).

TABLA ANEXA I Graduaciones del agregado fino para mezclas bituminosas en frio o caliente. Fuente : AASHTO M 29-88 y ASTM D 1073-88.(Ambas especificaciones contienen los mismos rangos de valores)

Sieve Size	Grading No. 1	Grading No. 2	Grading No. 3	Grading No. 4
3/8-in. (9.5-mm)	100	—	—	100
No. 4 (4.75-mm)	95 to 100	100	100	80 to 100
No. 8 (2.36-mm)	70 to 100	75 to 100	95 to 100	65 to 100
No. 16 (1.18-mm)	40 to 80	50 to 74	85 to 100	40 to 80
No. 30 (600-µm)	20 to 65	28 to 52	65 to 90	20 to 65
No. 50 (300-µm)	7 to 40	8 to 30	30 to 60	7 to 40
No. 100 (150-µm)	2 to 20	0 to 12	5 to 25	2 to 20
No. 200 (75-µm)	0 to 10	0 to 5	0 to 5	0 to 10

TABLA ANEXA II Requerimientos granulométricos del agregado grueso en mezclas bituminosas. Fuente : ASTM D - 448-86(1993) o AASHTO M 43 - 88. (Ambas especificaciones contienen los mismos rangos de valores).

Size Number	Nominal Size, Square Openings	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square Openings), weight percent														
		4-in. (100-mm)	3½-in. (90-mm)	3-in. (75-mm)	2½-in. (63-mm)	2-in. (50-mm)	1½-in. (37.5-mm)	1-in. (25.0-mm)	¾-in. (19.0-mm)	½-in. (12.5-mm)	⅜-in. (9.5-mm)	No. 4 (4.75-mm)	No. 8 (2.36-mm)	No. 16 (1.18-mm)	No. 50 (300-µm)	No. 100 (150-µm)
1	3½ to 1½-in. (90 to 37.5-mm)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...
2	2½ to 1½-in. (63 to 37.5-mm)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...	...
24	2½ to ¾-in. (63 to 19.0-mm)	...	...	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	2 to 1-in. (50 to 25.0-mm)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
357	2-in. to No. 4 (50 to 4.75-mm)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...	...
4	1½ to ¾-in. (37.5 to 19.0-mm)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
467	1½-in. to No. 4 (37.5 to 4.75-mm)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...	...
5	1 to ½-in. (25.0 to 12.5-mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...	...
56	1 to ⅜-in. (25.0 to 9.5-mm)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...	...
57	1-in. to No. 4 (25.0 to 4.75-mm)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...	...
6	¾ to ⅜-in. (19.0 to 9.5-mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...	...
67	¾-in. to No. 4 (19.0 to 4.75-mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
68	¾-in. to No. 8 (19.0 to 2.36-mm)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	30 to 65	5 to 25	0 to 10	0 to 5	...	...
7	½-in. to No. 4 (12.5 to 4.75-mm)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...	...
78	½-in. to No. 8 (12.5 to 2.36-mm)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 75	5 to 25	0 to 10	0 to 5	...	...
8	⅜-in. to No. 8 (9.5 to 2.36-mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...	...
89	⅜-in. to No. 16 (9.5 to 1.18-mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5	...
9	No. 4 to No. 16 (4.75 to 1.18-mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5	...
10	No. 4 to 0[A] (4.75-mm)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	...	...	...	10 to 30

[A] Screenings.

TABLA ANEXA III Especificación para la composición granulométrica de mezclas bituminosas DENSAS Y ABIERTAS. Fuente : ASTM D 3515-89.

Sieve Size	*Dense Mixtures*								
	Mix Designation and Nominal Maximum Size of Aggregate								
	2 in. (50 mm)	1½ in. (37.5 mm)	1 in. (25.0 mm)	¾ in. (19.0 mm)	½ in. (12.5 mm)	⅜ in. (9.5 mm)	No. 4 (4.75 mm) (Sand Asphalt)	No. 8 (2.36 mm)	No. 16 (1.18 mm) (Sheet Asphalt)
	Grading of Total Aggregate (Coarse Plus Fine, Plus Filler if Required) Amounts Finer Than Each Laboratory Sieve (Square Opening), Weight %								
2½ in. (63-mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50-mm)	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1½ in. (37.5-mm)	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...
1 in. (25.0-mm)	60 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...
¾ in. (19.0-mm)	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...	...
½ in. (12.5-mm)	35 to 65	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...	...
⅜ in. (9.5-mm)	...	...	...	56 to 80	...	90 to 100	100	...	...
No. 4 (4.75-mm)	17 to 47	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85	80 to 100	...	100
No. 8 (2.36-mm)[A]	10 to 36	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67	65 to 100	...	95 to 100
No. 16 (1.18-mm)	...	...	...	...	...	...	40 to 80	...	85 to 100
No. 30 (600-µm)	...	...	...	...	...	...	25 to 65	...	70 to 95
No. 50 (300-µm)	3 to 15	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23	7 to 40	...	45 to 75
No. 100 (150-µm)	...	...	...	...	...	...	3 to 20	...	20 to 40
No. 200 (75-µm)[B]	0 to 5	0 to 6	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10	2 to 10	...	9 to 20

Sieve Size	*Open Mixtures*								
	Mix Designation and Nominal Maximum Size of Aggregate								
	2 in. (50 mm)	1½ in. (37.5 mm)	1 in. (25.0 mm)	¾ in. (19.0 mm)	½ in. (12.5 mm)	⅜ in. (9.5 mm)	No. 4 (4.75 mm) (Sand Asphalt)	No. 8 (2.36 mm)	No. 16 (1.18 mm) (Sheet Asphalt)
	Base and Binder Courses						Surface and Leveling Courses		
2½ in. (63-mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50-mm)	90 to 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1½ in. (37.5-mm)	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...	
1 in. (25.0-mm)	40 to 70	...	90 to 100	100	...	...	...	...	...
¾ in. (19.0-mm)	...	40 to 70	...	90 to 100	100	...	...	...	...
½ in. (12.5-mm)	18 to 48	...	40 to 70	...	85 to 100	100	...	...	...
⅜ in. (9.5-mm)	...	18 to 48	...	40 to 70	60 to 90	85 to 100	...	...	...
No. 4 (4.75-mm)	5 to 25	6 to 29	10 to 34	15 to 39	20 to 50	40 to 70	...	100	...
No. 8 (2.36-mm)[A]	0 to 12	0 to 14	1 to 17	2 to 18	5 to 25	10 to 35	...	75 to 100	...
No. 16 (1.18-mm)	...	...	...	...	3 to 19	5 to 25	...	50 to 75	...
No. 30 (600-µm)	0 to 8	0 to 8	0 to 10	0 to 10	...	...	...	28 to 53	...
No. 50 (300-µm)	...	...	...	...	0 to 10	0 to 12	...	8 to 30	...
No. 100 (150-µm)	...	...	...	...	...	...	...	0 to 12	...
No. 200 (75-µm)[B]	...	...	...	...	...	...	...	0 to 5	...
	Bitumen, Weight % of Total Mixture[C]								
	2 to 7	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12	6 to 12	7 to 12	8 to 12
	Suggested Coarse Aggregate Sizes								
	3 and 57	4 and 67 or 4 and 68	5 and 7 or 57	67 or 68 or 6 and 8	7 or 78	8			

ENSAYO N°9 GRANULOMETRÍA DE GRUESOS Y FINOS
REFERENCIAS : AASHTO T 27-93
ASTM C 136-84A

1. ALCANCES

Este método cubre la determinación de la distribución de los tamaños de partículas de agregados gruesos y finos utilizando el método mecánico por cribado.

Algunas especificaciones para agregados las cuales hacen referencia a este método contienen requerimientos granulométricos que incluyen especificaciones tanto para agregado grueso como fino. Este método no es aplicable a ensayos granulométricos de filler o de agregados recuperados de mezclas asfálticas.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 ESTANDARES ASTM

C 702-87	Práctica para muestreo en campo de agregados para ensayo granulométrico.
D 75 -87	Práctica para muestreo de agregados.
C 117-87	Método estándar para el análisis granulométrico de materiales retenidos en la malla No. 200, utilizando lavado.
D 1241-68	Especificaciones para materiales de Base, Subbase y Superficie Granular.
D 2216-80	Determinación del Contenido de Agua de un suelo.
D 2487-85	Clasificación de suelos para propósitos ingenieríles.
E 11-87	Especificación para tamices con paño de alambre, para propósitos de ensayos.

3. RESUMEN DEL METODO.

Una muestra de suelo seco con peso conocido, es separada utilizando una serie de mallas progresivamente más pequeñas con el objeto de llegar a determinar la distribución de los tamaños que contiene el material a analizar.

El método aquí descrito, utiliza la técnica de lavado previo por la malla N°200, para determinar más exactamente la cantidad de material más fino que dicha malla. Luego el retenido, en estado seco es sometido al proceso de tamizado mecáncio, utilizando las mallas designadas para este fin.

4. SIGNIFICADO Y USO

Determinar la gradación de los materiales granulares a usar en un proyecto de pavimentación, es llegar a encontrar las proporciones relativas de los distintos tamaños de partículas que los constituyen. En una masa de suelo existen muchos partículas con distintos diámetros. La granulometría intenta agrupar en varias clases a aquellas cuya mayor dimensión se encuentra entre dos mallas de abertura cuadrada, seguidamente colocadas una sobre la otra.

Los resultados del ensayo pueden ser utilizados para verificar si la distribución del tamaño de las partículas constituyentes, cumple con los requerimientos de las especificaciones aplicables en un proyecto específico, proporcionando de esta manera la suficiente información para el control de la producción de diferentes mezclas de agregados. Además esta información puede ser utilizada para encontrar la relación que existirá entre la porosidad del material y el terraplén conformado con estos materiales.
Utilizando un juego de mallas especial, los resultados podrán ser usados para clasificar el suelo en su estado natural (Ver Comentarios).

5. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES.

5.1 Balanzas (1) de 20 Kg y 1 de 2610 g. de capacidad, con 1.0 g y 0.1 g de aproximación, respectivamente.

5.2 Mallas.
Un juego de mallas con diámetro nominal de 8" según las características definidas en ASTM E 11-87. Para este propósito se recomienda usar las siguientes :
1 1/2", 1", 3/4", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.40, No.50, No.100 y No.200.

5.3 Agitador mecánico(Mechanical Sieve Shaker).
Sus características se describen en la especificación ASTM C 136-84a.

5.4 Horno eléctrico.
Un horno eléctrico con tamaño apropiado para guardar muestras de por lo menos 5000 g. y capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5°C.

5.5 Equipo misceláneo.
Durante el desarrollo de este ensayo es necesario contar con espátulas de 4" de largo, brochas metálicas para limpieza de mallas, charolas de lámina galvanizada, papel periódico, palas manuales, carretilla de mano y valdes o recipientes para lavado.

5.6 Materiales.

Es necesario contar con agua potable, e indudablemente con la muestra de suelo a ensayar.

6. PROCEDIMIENTOS

6.1 Haciendo uso de las mallas gruesas, determinar el tamaño máximo de las partículas que componen al material selecto.

6.2 Tomar de un cuarteo la cantidad de material de ensayo, segun la TABLA 9.1, y anotar este peso en el cuadro correspondiente como P1

6.3 Lavar el peso obtenido de material a través de la malla 200, a fin de eliminar más eficientemente los finos del material (esta actividad facilita el cribado de los finos), el material estará bien lavado cuando el agua del grifo pasa completamente límpia a través de esta malla.

6.4 Una vez el material está bien lavado se coloca dentro de un horno por un período de 18 a 24 hrs a una temperatura 110±5°C.

6.5 Transcurrido este tiempo se pesa de nuevo el material y se anota en el cuadro correspondiente como PL. El peso de los finos por lavado (FL) sera la diferencia entre P1 - PL, este valor se anota como FL.

6.6 Tamizar el material de peso PL por las mallas mas gruesas hasta la malla N° 4 y anotar en el cuadro correspondiente los respectivos PESOS RETENIDOS PARCIALES (P.R.P) obtenidos.

6.7 Realizar un cuarteo al material que pasó la malla N°4 y tomar de éste una muestra con un peso de 500 gr aproximadamente. Anotar dicho peso en el cuadro correspondiente como P2.

6.8 Tamizar el material de peso por las mallas finas, de la N°8 hasta la N° 200 y anotar en el cuadro correspondiente, los respectivos PESOS RETENIDOS PARCIALES (P.R.P) obtenidos.

6.9 Calcular la granulometría y elaborar la curva granulométrica correspondiente.

6.10 Determinar el tipo de granulometría del material selecto comparándola con las especificaciones de la TABLA 9.2.

TABLA 9.1 Peso de la muestra de ensayo en función del tamaño máximo (ϕmax) del agregado. FUENTE ASTM C 136-84a

AGREGADO FINO	
Mínimo, el 95% pasa la malla N°8	100 g
Mlnimo, el85% pasa la malla N°4 y más del 5% retiene la malla N°8	500 g
AGREGADO GRUESO	
Tamaño Máximo Nominal mm (in)	Peso de muestra de ensayo, mínimo, Kg (Lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 1/2)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 1/2)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
112.0 (4 1/2)	200 (440)
125.0 (5)	300 (660)
150 (6)	500 (1100)

TABLA 9.2 Requerimientos granulométricos para materiales de suelo-agregado para sub-base, base y superficies. . FUENTE : ASTM D 1241- 91

MALLA N° (pulg)	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA			
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
2	100	100	---------	-------
1	-------	75 - 95	100	100
3/8	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
N°4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
N°10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
N°40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
N°200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

7. CALCULOS

Antes de iniciar los cálculos se debe verificar si las sumas de los Pesos Retenidos Parciales son iguales a sus respectivos pesos iniciales. Si no lo son, se procede a compensar por exceso o defecto en la malla de mayor retenido o distribuyendo el error equitativamente en todos los PRP.

Los cálculos necesarios son los siguientes :

$\%RP = PRP \times f1$ ....(Ec. 9.1)
$\%RP = PRP \times f2$ ....(Ec. 9.2)
$\%RA = \Sigma(\%RP)a$ ....(Ec. 9.3)
$\%PASA = 100 - \%RAi$ ó tambien ....(Ec. 9.4)
$\%PASA = (\%PASA)n - (\%RP)n+i$ ....(Ec. 9.5)

SIMBOLOGIA :

%RP : Porcentaje Retenido Parcial para cada malla.
%RA : Porcentaje Retenido Acumulado para cada malla.
%PASA: Porcentaje que pasa por cada malla.
i : N° de casilla donde se calcula el %PASA.
n + i : N° de casilla anterior a la "i".
f1 : Factor constante para los gruesos
f2 : Factor constante para los finos

$$f1 = 100/P1 \qquad \text{....(Ec. 9.6)}$$

$$f2 = \frac{\%RP(\text{pasa No.4})}{500} \qquad \text{....(Ec. 9.7)}$$

8. INFORME

En el reporte de laboratorio debe ser incluida la siguiente información :

9.1 Identificación del material (Datos del proyecto)
9.2 Tamaño máximo de las partículas.
9.3 Porcentaje que pasa cada malla.
9.4 Curva granulométrica.
9.5 Valores de los Coeficientes de Uniformidad y Curvatura.
9.6 Descripción del material (Clasificación granulométrica)
9.7 Forma de las partículas (Redondas o angulares).
9.8 Dureza de las partículas :
   a. Duras y Durables.
   b. Suaves.
   c. Intemperizadas y desmenuzables.
9.9 Gravedad Específica del suelo.

9. COMENTARIOS

9.1 Del proceseso de ensayo

a. Se debe reportar los porcentajes que pasan con aproximaciones al 0.1%, omitiendo los resultados para aquellas mallas sobre las cuales menos del 0.05% en peso ha sido retenido.

b. No se deben permitir diferencias máximas del 0.5 al 1% entre la Sumatoria de los PRP y el Peso Total de la muestra ensayada , si esta diferencia es mayor , el ensayo deberá repetirse.

c. Cuando el propósito de la granulometría es clasificar el suelo haciendo uso de los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO, únicamente será necesario usar el siguiente juego de mallas : 3", 3/4", No.4, No.10, No.40, No.200

d. El tiempo de vibrado óptimo podrá definirse como aquel en el cual la curva granulométrica se vuelve constante (se obtienen aproximadamente los mismos

PORCENTAJES QUE PASAN). En la práctica suelen utilizarse 15 min. de vibrado, cuando la granulometría se realiza con vibrador mecánico y 30 min. si se realiza manualmente.

9.2 De la utilidad del ensayo granulométrico

a. Como parámetro en el control de la calidad de los materiales granulares a utilizar en un proyecto de carreteras, la granulometría es quiza el más importante, ya que en función de ésta se definen otras características de los materiales que constituirán la estructura del pavimento, asi por ejemplo, la granulometría de los pétreos es factor influyente del porcenje óptimo de asfalto, del porcentaje de vacíos, de la Densidad Bulk y otras características de una mezcla bituminosa.

b. Debido a la importancia que esta tiene , en las especificaciones de un proyecto siempre se incluyen las de granulometría, factor que puede hacer que se rechazen bancos de prestamo, a no ser que el Ingeniero geotecnista recomiende su adecuación a través de ciertos procedimientos, como el agregar un material fino (pudiendo ser cemento Portland), realizar combinaciones con diferentes bancos de materiales, etc.

c. Un material pétreo puede ser clasificado granulométricamente como mal o bien graduado, esto obedece a los parámetros Coeficiente de Curvatura (Cu) y Coeficiente de Uniformidad (Cc), cuyos valores aparecen en la TABLA 2.2, del ENSAYO N°2, CAPITULO II.

ENSAYO N°10 **ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASIÓN USANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.**

REFERENCIAS : AASHTO T 96-92
ASTM C 131-89,

NOTA ÚNICA

El ensayo de Desgaste por Abrasión usando la máquina de Los Ángeles, para agregados pétreos es el mismo que es descrito como **ENSAYO N°5, CAPITULO II.**
El lector puede aplicar este procedimiento en caso de requerir ensayar algún tipo de material pétreo.

ENSAYO N°11 **EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO.**

REFERENCIAS AASHTO T 176-86
ASTM D 2419-91

NOTA ÚNICA

El ensayo de Equivalente de arena para suelos y agregado fino descrito en el **CAPITULO II** como **ENSAYO N°8**, es aplicable a Agregados Finos en su totalidad.
El lector puede aplicara este procedimiento en caso de requerir ensayar algún tipo de agregado fino.

COMENTARIOS

Los comentarios relativos a estos ensayos, se hacen en el desarrollo de cada uno de estos.

ENSAYO N° 12 **SANIDAD DE AGREGADOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO.**

REFERENCIAS : **AASHTO** **T 104-92**
ASTM **C 88-83**

1. ALCANCE

Este método comprende el ensayo de agregados para la determinación de la Sanidad, cuando estos estarán sometidos a la acción del intemperismo en concreto hidráulico o asfáltico u otras aplicaciones.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 75-82 Práctica para el muestreo de agregados
C 33-90 Especificaciones de agregado para concreto

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 2-91 Práctica para el muestreo de agregados

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregados con granulometría y peso conocido, se somete a cinco (5) ciclos repetitivos de inmersión-secado, (solución saturada de sulfato de sodio y de secado al horno por 24 h). La sal precipitada en los poros permeables es deshidratada total o parcialmente por el período de secado. La fuerza de expansión interna, se origina en la rehidratación de la sal, producida por la re-inmersión de la muestra de agregados, en la solución de sulfato de sodio, de esta forma se logra simular la expansión del agua durante su congelamiento.

4. SIGNIFICADO Y USO

Este ensayo permite obtener la información necesaria para evaluar la Sanidad de agregados cuando otro tipo de información pertinente no esta disponible en los registros de el material expuesto a las condiciones actuales de intemperismo. Por lo tanto este método de ensayo provee un procedimiento para obtener una estimación preliminar de

la Sanidad de agregados para ser usado en concreto hidráulico o asfáltico. El valor obtenido puede ser comparado con las Especificaciones para agregados en Concreto Hidráulico, ASTM C 33-90, las cuales se utilizan para indicar la conveniencia en el uso de tales agregado. La presición de este método es pobre, y puede no resultar conveniente para emitir un juicio de rechazo completo de los mismo, hasta no contar con información proveniente de ensayar los mismos agregados bajo otros métodos de ensayo afines a los propósitos de utilización de estos.

Los valores para el porcentaje de pérdida permisibles mediante este método de ensayo son usualmente diferentes para agregado fino y agregado grueso, más aún cuando los resultados provienen del uso de sales diferentes, por lo que se deberá ser cuidadoso al fijar los limites propios en cada especificación a utilizar.

El ensayo es usualmente mas severo cuando se usa sulfato de magnesio en lugar de sulfato de sodio, es decir que el límite de pérdida permisible al ensayar con sulfato de magnesio es usualmente mayor que cuando se ensaya con sulfato de sodio.

5. DEFINICIONES

5.1 SOLUCIÓN : Mezcla homogénea entre disolvente y soluto.

5.2 DISOLVENTE

Componente de una solución que se encuentra en la mayor cantidad.

5.3 SOLUTO

Componente de una solución que se encuentra en menor cantidad que el disolvente..

5.4 SOLUBILIDAD

Término que indica la máxima cantidad de soluto que se disolverá en una cantidad definida de disolvente, a una temperatura específica, para producir un sistema estable.

5.5 CONCENTRACION

Indica la cantidad de soluto disuelto en una cantidad dada de disolvente.

5.6 SOLUCIÓN SATURADA

Es la solución en la cual la concentración de soluto disuelto, es constante.

5.7 SANIDAD DE AGREGADOS

.Valor porcentual que indica la pérdida en peso, que experimenta un agregado al ser sometido a ciclos repetitivos de inmersión - secado, en una solución saturada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Mallas

Para agregado fino	:	Nos. 100, 50, 30, 16, 8 y 4
Para agregado grueso	:	2 1/ 2", 2", 1 1 / 2", 1 1 / 4", 1" ,3/4", 5/8", 1/2"; 3/8" y 5/16".

6.2 Recipientes para saturación de la muestra y para preparación de solución.

Pueden utilizarse recipientes plásticos con capacidad de 3 lt c/u, los cuales deben permitir drenar la solución sin que se produzcan pérdidas de agregados. Serán necesarios 8 de estos recipientes. Para la elaboración de la solución de sulfato de sodio se necesita un recipiente de vidrio con capacidad para 5 a 6 lt. debe contener tapadera no metálica.

Se deben adaptar cedazos de alambre de abertura adecuada a los recipientes plásticos mencionados , para evitar la pérdida de agregados durante el vaciado de la solución al final de cada ciclo de inmersión.

6.3 Balanzas

Una balanza de 2610 g de capac. con 0.1 g de aprox. y una de 20 kg de capac. con 1.0 g de aprox.

6.4 Horno eléctrico con capacidad para 110 ± 5°C.

6.5 Misceláneo

Espátula con hoja de 6", charolas, guantes de hule, bandejas de aluminio, mascarilla

7. PROCEDIMIENTO

7.1 SOLUCIÓN REQUERIDA

Se prepara la solución de sulfato de sodio (Na_2SO_4) para la inmersión de la muestra de agregados, 48 h antes de su utilización, períodos durante el cual debe mantenerse

a una temperatura de 22°C. La preparación de la solución para la inmersión de la muestra de ensayo debe ser suficiente para lograr los cinco (5) ciclos de inmersión requeridos durante el ensayo. La temperatura del agua para la preparación de esta solución debe ser entre 25 a 30°C. Para su preparación se añade suficiente sulfato de sodio hasta lograr la saturación de la misma, esto se producirá cuando se presenten cristales de la sal (sulfato de sodio) agregada en exceso. Durante la adición de la sal, deberá existir un agitado vigoroso y a intervalos continuos.

Normalmente 215 g de sulfato de sodio por litro de agua son suficientes para lograr la saturación de la solución. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, se debe guardar la solución con una cubierta cerrada antes de su utilización y por el período ya mencionado. Inmediatamente antes de usarse, ésta debe agitarse vigorosamente. La solución usada deberá tener una Gravedad Específica no menos de 1.151 y no mayor de 1.174.

7.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

7.2.1 Condiciones Generales

La muestras de ensayo deberán estar limpias (lavada por la malla N°100), seca a peso constante, ser representativa y cumplir con los requisitos granulométricos planteados en 7.2.2 y 7.2.3 . Además se debe conocer previamente la granulometría natural del material a ensayar según ASTM C 136 (Ver ENSAYO N°9 de este CAPITULO).

7.2.2 Muestra de Agregado Fino

El agregado fino para el ensayo, deberá ser tamizado a través de la malla 3/8". La muestra así tamizada deberá ser de un tamaño suficiente para obtener no menos cien gramos (100 g) de cada uno de los siguientes tamaños :

PASA MALLA	RETIENE MALLA
3/8"	N°4
N°4	N°8
N°8	N°16
N°16	N°30
N°30	N°50

7.2.3 Muestra de agregado grueso

La muestra de agregado grueso no deberá contener material más fino que la malla N°4, debiendo estar formada por los siguientes tamaños :

	Tamaño del agregado entre	Peso, g
a.	3/8" a N°4	300 ± 5
b.	3/4" a 3/8"	1000 ± 10
Consistente en :	1/2" a 3/8"	330 ± 5
	3/4" a 1/2"	670 ± 10
c.	1 1/2" a 3/4"	1500 ± 50
Consistente en :	1" a 3/4"	500 ± 30
	1 1/2" a 1"	1000 ± 50
d.	2 1/2" a 1 1/2	5000 ± 300
Consistente en :	2" a 1 1/2"	2000 ± 200
	2 1/2" a 2"	3000 ± 300

Cuando el agregado a ensayar contiene apreciable cantidad de finos y gruesos, en cuya granulometría se reporta más del 0% en peso de material retenido en la malla 3/8" y más del 10% de material que pasa la malla N°4, se deberán ensayar separadamente las fracciones sobre y bajo la malla N°4, según los procedimientos respectivos para gruesos y finos.

7.2.4 Almacenamiento de la muestra de ensayo dentro de la solución.

Se introduce la muestra de ensayo en la solución preparada de sulfato de sodio o de magnesio durante un período de tiempo no menor de 16 h. y no mayor de 18h. La muestra debe permanecer cubierta totalmente por la solución en un profundidad no menor de 1/2". Una vez se ha depositado la muestra en la solución, se cubre el recipiente para reducir la evaporación y prevenir que la solución se contamine con sustancias extrañas. La temperatura de la inmersión deberá ser de 21 ± 1°C.

7.2.5 Secado de la muestra después de la inmersión

Después del período de inmersión, se remueve la muestra de agregados de la solución, permitiéndole que drene durante 15 ± 5 min con el propósito de introducirla a secado dentro del horno en las condiciones descritas adelante. La temperatura del horno deberá ser de 110 ± 5°C. La muestra deberá secarse hasta obtener peso constante, para lo cual saben chequearse los pesos cada 2 ó 4 h. Se acepta como peso constante, cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es menor del 0.1% del peso seco de la muestra total de agregados. Al final del período de secado, se enfría la muestra a temperatura ambiente, para luego introducirla en otra porción nueva de solución.

NOTA 1: El proceso descrito en 7.2.4 y 7.2.5 se repite hasta cumplir cinco (5) ciclos completos de inmersión - secado.

7.2.6 . Examen cuantitativo

7.2.6.1 Una vez terminados los 5 ciclos de saturación - secado y con la muestra a temperatura ambiente, se procede a lavarla hasta dejarla libre de solución de sulfato de sodio. El lavado debe efectuarse con agua circulante continuo a una temperatura de 43 ± 6°C con las muestras en sus recipientes. Esto puede lograrse colocando cada recipiente dentro de un tanque de lavado, y haciendo que el agua con la temperatura indicada, llene éste y luego se derrame sobre el mismo. En la operación de lavado, las partículas de las muestras no deberán estar sujetas a impacto o abrasión, ya que pueden tender a quebrarse.

7.2.6.2 Después que el sulfato de sodio a sido removido, se seca cada fracción de la muestra de ensayo hasta peso constante, dentro de un horno a una temperatura de 110 ± 5°C. Se tamiza cada porción del agregado fino sobre la misma malla sobre la cual ésta fue retenida antes del iniciar el ensayo y el agregado grueso sobre las mallas indicadas abajo, según el tamaño apropiado de las partículas. Para agregado fino, el método y duración del tamizado podrá ser el mismo que se usa durante la preparación de la muestra de ensayo, es decir 15 min. Para agregado grueso, el tamizado deberá ser manual, con agitación suficiente para asegurar que todos los tamaños han tenido la oportunidad de estar en contacto con la malla en donde se encuentran. No se debe usar extramanipulación para romper las partículas u obligarlas a que pasen cualquiera de las mallas.

Tamaño del agregado	Malla usada para determinar la pérdida.
2 1/2" a 1 1/2"	1 1/4"
1 1/2" a 3/4"	5/8"
3/4" a 3/8"	5/16"
3/8" a N°4	N°5 (4.0 mm)

7.2.6.3 Se pesa el material retenido sobre cada malla y se registra cada cantidad. La pérdida producida en cada malla (porcentaje que pasó cada malla después del ensayo), se expresa como un porcentaje de la gradación original en cada malla del material ensayado. La pérdida total se expresa como la suma total de las pérdidas parciales producidas en cada una de las mallas utilizadas.

7.2.7 Examen cualitativo

Para realizar el examen cuantitativo de la muestra gruesa (mayor de la malla 3/4"), ensayada se separan las partículas de cada muestra de ensayo en grupos de acuerdo a la acción producida por el ensayo y se registra el número de partículas que muestran señales de degradación en cada porción obtenida. Muchos tipos de acciones pueden presentarse. En general, estas pueden clasificarse como desintegración, hendeduras, desmenuzamientos, agrietamientos, escamaduras, etc.

8. CÁLCULOS

8.1 Este ensayo contiene los cálculos relativos a la granulometría de un material, es decir el cálculo de los Porcentajes Retenidos Parciales, Porcentajes Acumulados Parciales y los Porcentajes que Pasan cada malla.

8.2 Los cálculos relativos al porcentaje de perdida para cada malla utilizada se realiza a través de la siguiente Ec. 12.1 :

$$\% \text{ PERDIDA} = \frac{\text{\% QUE PASA LA MALLA DESPUES DEL ENSAYO}}{\text{\% QUE PASA LA MALLA EN GRANULOMETRIA ORIGINAL}} \times 100$$

NOTA : Para un ejemplo de cálculo, consúltese el Estándar ASTM C 88-83.

9. INFORME

Además de la información general relativa a la identificación de la muestra ensayada, el informe debe incluir lo siguiente :

9.1 La granulometría original del material ensayado.

9.2 El peso del cada fracción de cada muestra antes del ensayo.

9.3. El porcentaje pasante del material en cada malla fina, después del ensayo expresado como un porcentaje del porcentaje pasante original de cada fracción.

9.4 El promedio calculado de pérdida de cada fracción, basado sobre la gradación original de la muestra de ensayo

9.5 En caso de materiales con cantidades apreciables de gruesos y finos, se deberá reportar por separado los resultados de pérdida obtenido del ensayo de cada una de las fracciones que separa la malla N°4.

9.6 El valor porcentual que representa la Sanidad del material pétreo ensayado.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Durante el proceso de vaciado de la solución de ensayo, debe utilizarse una malla N°100 para decantar las muestras de agregado fino y una malla N°8 para decantar la muestras de agregado grueso, con el fin de no permitir la pérdida de agregados durante esta operación.

b. Si durante la elaboración de la solución de ensayo, no se logra la saturación con 215 g. de sulfato de sodio, podrá usarse una cantidad máxima de 350 g. de Sulfato de Sodio por litro de agua para lograr tal resultado.

c. El error porcentual permisible, en la granulometría original del material ensayado no debe ser mayor de 0.5%

d. Para el agregado fino (con menos del 10% de agregados mayores que la malla 3/8") se asume que los tamaños más finos que la malla N°50 tendrán 0% de pérdida y que los tamaños más gruesos que la malla 3/8" tendrán la misma pérdida del siguiente tamaño inmediato inferior del cual existe un datos granulométricos disponibles.

e. Para agregado grueso (con menos del 10% de materiales que pasan la malla N°4 , se asume que los tamaños más finos que dicha malla tendrán la misma pérdida que tiene su tamaño inmediato superior del cual existen datos granulométricos disponibles.

f. Para un material que contiene cantidades apreciables de gruesos y finos, se deberá obtener por separado, el Porcentaje de Pérdida de cada una de las fracciones que separa la malla N°4.

g. Cuando en la gradación original, uno de los tamaños contiene menos del 5% de porcentaje pasante se usa como porcentaje pasante de la granulometría después del ensayo, el mismo valor que lo antecede en la misma granulometría.

10.2 De la utilidad del ensayo de Sanidad

a. El valor obtenido debe considerarse únicamente como una estimación preliminar de la resistencia al intemperismo de los agregados ensayados, ya que las condiciones reales de intemperismo a que estarán sujetos los agregados dentro de un proyecto de carreteras específico, serán las que definirán el verdadero comportamiento de los mismos.

b. Las especificaciones para carreteras, ASTM, AASHTO y FP-92, establecen los valores máximos de pérdida por intemperismo de los agregados a utilizar en las diferentes capas de un pavimento (Ver Sección 1.2.2 ESPECIFICACIONES GENERALES, CAPITULO III).

ENSAYO N°13 PARTÍCULAS PLANAS Y ACHATADAS (CUBICIDAD DE PARTÍCULAS) ESPECIFICACIÓN VENEZOLANA LNV 3-86

1. ALCANCE

Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas chancadas(caras fracturadas), rodadas y lajeadas de la fracción retenida en la malla N°4 de un pétreo.

Este método se aplicará a todos los áridos y agregados pétreos que se emplearán en las diferentes capas de un pavimento.

La muestra de agregados para el ensayo debe tomarse del material retenido en la malla N°4.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 75-82	Práctica para el muestreo de agregados
C 33-90	Especificaciones de agregado para concreto
D 692-88	Especificaciones de agregados para pavimentos bituminosos

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 2-91	Práctica para el muestreo de agregados
M 80-87	Especificaciones de agregado para concreto

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de material pétreo con granulometría conocida se somete a un proceso de clasificación por tamaño y forma de sus partículas, utilizando un calibrador ranurado, con aberturas estandarizadas. Las partículas de cada porción de la granulometría original que pasan una abertura específica, reflejan el porcentaje de partículas planas y alargadas (o achatadas) que tiene cada porción mencionada.

Para la determinación del chancado, rodado y laja, la muestra a ensayar deberá tomarse del material retenido en la malla N°4, mientras que para determinar el Índice de laja se toma la muestra según las cantidades y mallas indicadas en la TABLA 13.1.

TABLA 13.1 Cantidad mínima de la muestra para el análisis granulométrico e Índice de laja. Fuente : Libro de Normas Venezolanas. LNV 3 - 86

Tamaño Nominal, pul (mm)	Masa mínima, (g)
1 (25)	10,000
3/4 (19)	5,000
1/2 (12.5)	2,500
3/8 (9.5)	1,000
1/4 (6.3)	750

4. SIGNIFICADO Y USO

Los materiales pétreos como constituyentes del concreto, ya sea éste hidráulico o asfáltico, deben cumplir con requerimientos de calidad especificados, ya que esto proporcionará una mayor posibilidad de mejorar la vida útil de las obras que con éstos se construyen. Los agregados también influyen en las proporciones de la mezcla para el concreto y en la economía. En general, las partículas de los agregados deben ser limpias, duras, resistentes y durables. Esto significa que deben evitarse las partículas débiles, quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto. En el caso de concreto hidráulico, las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Por tanto las partículas del agregado que son angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Las partículas de los agregados deben ser cortas, gruesas y libres de cantidades excesivas de piezas en forma de placas y alargadas. Se deben evitar las piezas en forma de astillas y largas o cuando menos limitarla a lo especificado en ASTM D 692-88 (Especificaciones para agregados de concreto asfáltico), en donde se indica que, para mezclas convencionales, por lo menos debe existir un 40% en peso de material retenido sobre la malla N°4, las cuales deben tener por lo menos una (1) cara fracturada y para mezclas gruesas de gradación abierta no menos del 90% en peso, deberán tener una o más caras fracturadas y el 75% en peso, dos o más caras fracturadas. Estos requisitos son igualmente importantes para el agregado fino triturado, ya que la piedra triturada con frecuencia contiene más partículas planas y alargadas.

Este ensayo se utiliza para determinar valores como lo son el Índice de laja, la cubicidad de las partículas que componen al material pétreo.

5. DEFINICIONES

5.1 Cubicidad : Término utilizado para englobar los conceptos de chancado, rodado y laja de las partículas de un material pétreo.

5.2 Chancado : Partícula pétrea que tiene dos o más caras fracturadas.

5.3 Rodado : Partícula pétrea que tiene una cara fracturada o que no tiene fracturas ni aristas.

5.4 Laja : Partícula pétrea en que la razón entre la dimensión máxima y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que cinco.

5.5 Índice de laja : Valor empleado especialmente en agregados para Tratamientos Superficiales y que consiste en el porcentaje en masa de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0.6 veces la dimensión media (tamiz teórico por donde pasa el 50%), con respecto al total del pétreo considerado.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Balanzas : Una con capacidad de 20 Kg. y aproximación de 1.0 g. y otra de 2610 g de capacidad con 0.1g de aproximación.

6.2 Horno eléctrico con capacidad para 105 ± 5°C.

6.3 Calibrador ranurado (ver FIG. 13.1)

6.4 Mallas N°4, 1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/2".

6.5 Charolas de lámina (3) 0 x 50 x 10 cm

7. PROCEDIMIENTO

7.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

7.1.1 Las muestras deben ser representativas en concordancia con el método de ensayo ASTM D 75-92 (Práctica para el muestreo de agregados). Además deben secarse hasta peso constante, durante 18 a 24 h, a una temperatura de 105 ±

5°C. Para la determinación exclusiva de la cubicidad, el tamaño de la muestra será tal que la masa de la fracción retenida en la malla N°4 cumpla con los requerimientos de la TABLA 13.2, mientras que para la determinación del Índice de laja debe cumplir con los de la TABLA 13.1.

TABLA 13.2 Cantidad mínima de la muestra de ensayo para determinación de la cubicidad de las partículas del Material Pétreo. Fuente : Libro de Normas Venezolanas, LNV 3-86

Tamaño máx. de las partículas,(mm)	Peso mínimo, (g)
50	1,000
25	750
20	500
12.5 ó menor	250

7.2 DETERMINACIÓN DEL CHANCADO, RODADO Y LAJA

7.2.1 Se obtiene la granulometría del material, con las mallas comprendidas entre la N°4 y 3/4", ambas inclusive.

7.2.2 Se registra el peso de cada fracción obtenida en la granulometría antes mencionada, como Ai.

7.2.3 En forma visual, se determina en cada fracción de la granulometría, las partículas CHANCADAS y RODADAS, estas se separan, para luego obtener de cada una, los pesos de chancado, laja en el chancado, rodado y laja en el rodado, B, D, C y E, respectivamente.

7.2.4 Utilizar el calibrador ranurado para determinar la fracción chancada y la fracción de laja, dentro de las partículas chancadas, separadas en el paso anterior. La fracción de cada retenido correspondiente al chancado, que pasa las ranuras del corte correspondiente en el calibre, representa la porción de LAJAS EN EL CHANCADO de ese retenido, mientras las que se retienen en este mismo calibre, representan la porción de CHANCADO del mismo retenido. Se registran estos pesos como Di y Bi respectivamente.

7.2.5 Utilizar el calibrador ranurado para determinar la fracción rodada y la fracción de laja, dentro de las partículas rodadas, separadas en el paso 7.2.2. La fracción de cada retenido correspondiente al rodado, que pasa las ranuras del corte correspondiente en el calibre, representa la porción de LAJAS EN EL RODADO de ese retenido, mientras las que se retienen en este mismo calibre, representan la porción de RODADO del mismo retenido. Se registran estos pesos como Ei y Ci, respectivamente. Todos estos pesos deben tomarse con aproximación de 0.1 gramo (0.1 g).

7.3 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LAJA.

7.3.1 Determinar la granulometría del material utilizando comprendidas entre la N°4 y la de 1", ambas inclusive.

7.3.2 Realizar el cálculo de esta granulometría, hasta los PORCENTAJES QUE PASAN cada malla, aproximando estos al entero más cercano.

7.3.3 Dibujar la CURVA GRANULOMETRICA y determinar en ésta, el tamiz teórico a través del cual pasa el 50%. del material ensayado.

7.3.4 Todas las partículas de cada corte granulométrico, se comparan con la ranura del corte correspondiente del calibrador ranurado.

7.3.5 Pesar el total de las partículas que pasan por el calibre y expresarlo como porcentaje del total de la muestra analizada, cuyo resultado es el ÍNDICE DE LAJA.

NOTA 1 : Si no se cuenta con el CALIBRADOR RANURADO puede utilizarse un PIE DE REY (VERNIER) para medir, midiendo al menos 100 partículas de cada fracción. A continuación se presenta un esquema del CALIBRADOR RANURADO con el propósito de que el interesado pueda elaborarlo de lámina cuyo espesor sea de por lo menos de 3 a 4 mm .

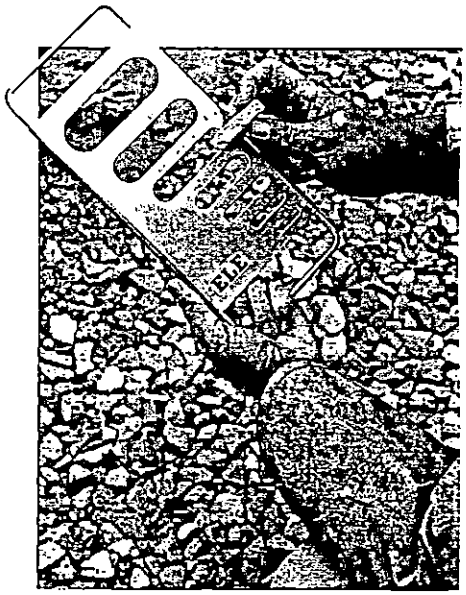


FIG. 13.1 Esquema del calibrador ranurado

8. CÁLCULOS

8.1 Calcular el PORCENTAJE DE CHANCADO de acuerdo a la Ec.13.1

$$Chi = \frac{Bi + Di}{Ai} \times 100 \qquad \text{(Ec.13.1)}$$

8.2 Calcular el PORCENTAJE DE RODADO de acuerdo a la Ec. 13.2

$$Ri = \frac{Ci + Ei}{Ai} \times 100 \qquad \text{(Ec.13.2)}$$

8.3 Calcular el PORCENTAJE DE LAJAS de acuerdo a la Ec. 13.3

$$Li = \frac{Di + Ei}{Ai} \times 100$$

Donde, para cada fracción :

Ai = peso de la fracción retenida, g .
Bi = peso del Chancado, g.
Ci = Peso del Rodado, g.
Di = Peso de Laja Chancada, g .
Ei = Peso de Laja rodada, g .

8.4 El CHANCADO EFECTIVO TOTAL se calcula con la Ec. 13.4

$$Ch = \frac{2A_{20} \cdot Ch_{20} + A_5 \cdot Ch_5}{2\,A_{20} + A_5} \qquad \text{(Ec. 13.4)}$$

8.5 El RODADO TOTAL se calcula con la Ec. 13.5

$$R = \frac{A_{20} \cdot R_{20} + A_5 \cdot R_5}{A_{20} + A_5} \qquad \text{(Ec. 13.5)}$$

8.6 La LAJA EFECTIVA TOTAL se calcula con la Ec. 13.6

$$L = \frac{2\,A_{20} \cdot L_{20} + A_5 \cdot L_5}{2\,A_{20} + A_5} \qquad \text{(Ec. 13.6)}$$

NOTA 2 : El sub-índice 20 indica la malla 3/4"
El sub-índice 5 indica la malla N°4

8.7 El ÍNDICE DE LAJA se calcula con la Ec. 13.7

$$IL = \frac{\Sigma \text{ Pasa cada calibre}}{\text{Peso Total}} \times 100 \qquad \text{(Ec. 13.7)}$$

9. INFORME

Además de la información general sobre la muestra ensayada, el informe deberá contener lo siguiente :

9.1 Resultado de los totales

9.2 Granulometría original del material con su curva granulométrica.
9.3 Diámetro teórico D50
9.4 Porcentaje de Chancado
9.5 Cada uno de los valores calculados en la Sección 8.
9.6 Análisis de resultados y recomendaciones en cuanto al uso del material.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Si el complemento del rodado es menor que el chancado efectivo, significa que predomina el chancado en la fracción sobre la malla 3/4".

b. Cuando hay una cantidad insignificante de material (menos del 5%), en cualquier fracción se puede omitir dicha determinación sin que el resultado cambie apreciablemente.

c. Durante el uso del calibrador ranurado no deberá forzarse a las partículas a que pasen una abertura específica.

10.2 De la utilidad del ensayo de chancado e Índice de laja

a. Valores altos de chancado indicarán que el agregado se compone de partículas con el potencial de proporcionar una superficie con adecuada rugosidad.

b. Los valores que componen a la Cubicidad, toman mayor significado en el diseño de las mezclas para superficie de pavimentos, ya que estos valores serán determinantes para obtener el porcentaje óptimo de aglutinante y la rugosidad de la superficie del pavimento a construir con dichos agregados. Así agregados con bajo porcentaje de partículas chancadas, requerirán de un mayor porcentaje de aglutinante que otros con alto porcentaje de partículas chancadas. Las partículas chancadas contribuyen en gran medida a la Estabilidad de la mezcla elaborada con estas mismas.

c. Las especificaciones ASTM D 692-88, indican los valores permisibles de partículas chancadas en agregados para mezclas bituminosas. En esta se especifica que para mezclas convencionales, no menos del 40% en peso de las piezas de grava retenido sobre la malla N°4 (4.75 mm), deberán tener por lo menos una cara fracturada, esto significa que el porcentaje mínimo de Rodado permisible para los materiales retenidos en esta malla es 40%. Así mismo para mezclas gruesas de gradación abierta, se especifica un Porcentaje de Rodado no menor de 90% en peso y un Chancado mínimo del 75%, para el material retenido en la malla N°4.

ENSAYO N°14 IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO HIDRÁULICO

REFERENCIAS : AASHTO T 21 - 91
ASTM C 40 - 92

1. ALCANCE

Este método de ensayo comprende el procedimiento para determinar aproximadamente la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino que será usado en concreto hidráulico.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 75-82	Práctica para el muestreo de agregados
C 33-90	Especificaciones de agregado para concreto
D 1544	Ensayo para medir el color de líquidos transparentes (Escala de Color Gardner)

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 2-91	Práctica para el muestreo de agregados
M 80-87	Especificaciones de agregado para concreto

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de arena se deposita dentro de una botella de 16 onzas (350 ml). Seguidamente se deposita sobre la muestra de arena una solución de hidróxido de sodio al 3%, se tapa y se agita vigorosamente este conjunto, luego se deja reposar por 24 h. para hacer las lecturas colorimétricas en comparación la CARTA COLORIMETRICA. La presencia de impurezas orgánicas perjudiciales se presenta como una coloración oscura de la solución de hidróxido de sodio. La no presencia de coloración en la misma indicará que la arena está limpia.

4. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo es usado cuando se evalúa preliminarmente la aceptabilidad del agregado fino, como elemento constituyente del concreto hidráulico.

La importancia de este método de ensayo consiste en que proporciona un indicador sobre la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino a utilizar. Cuando una muestra es sometida a este ensayo un color oscuro en la solución de hidróxido de sodio, indicará la presencia de estas impurezas orgánicas. Esto permitirá evaluar el efecto de dichas impurezas en la resistencia del mortero hidráulico (Ver ASTM C 87-83, Método de ensayo para el efecto de las impurezas orgánicas en agregados finos sobre la resistencia del mortero).

5. DEFINICIONES

5.1 Impurezas Orgánicas

Son productos de la descomposición de materia vegetal, que interfieren con las reacciones químicas del cemento, durante su período de hidratación.

Ejemplos de estas son el ácido tánico y sus derivados los cuales se manifiestan en forma de humus o margas orgánica.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Botella de vidrio transparente con capacidad aproximada de 16 oz (350 ml), su sección debe ser aproximadamente ovalada y debe estar graduada sobre su superficie externa. Debe poseer una marca en las 4 1/2 oz para indicar el nivel de la arena y una marca de 7 oz. para indicar el nivel de la solución de hidróxido de sodio.

6.2 Carta Colorimétrica con colores estándares para comparar la coloración de la solución dentro de la botella.

6.3 Balanza con capacidad de 2610 g. y 0.1 g de aprox.

6.4 Misceláneo

Espátula, probeta graduada de 1000 ml, plato de porcelana, agitador de vidrio de 50 cm de longitud, embudo, beaker.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO

La solución al 3% de hidróxido de sodio se prepara mezclando 1 oz de esta sal en 1/4 de galón de agua potable, preferentemente destilada. También puede prepararse para

un litro de agua (en la probeta de 1000 ml), para lo cual serán necesarios 30 g. de hidróxido para los 1000 ml de agua potable.

7.2 MEZCLADO DE LA ARENA CON SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO

7.2.1 Se deposita arena en la botella hasta el nivel de 4 1/2 oz.

7.2.2 Se agrega la solución de hidróxido de sodio hasta que el nivel de el líquido más el agregado indiquen las 7 oz .

7.2.3 Se tapa la botella, se agita vigorosamente el conjunto hasta que la solución halla logrado humedecer a toda la muestra de arena, luego se deja reposar por 24 h.

7.2.4 Transcurrido este período se procede a determinar la coloración de la solución, mediante la comparación de su color con los de la CARTA COLORIMETRICA, mientras más oscuro sea el color de la solución, mayor será el contenido de materia orgánica dentro de la arena ensayada. Si el color del líquido que queda encima de la muestra de arena no es más oscuro que el tono amarillo estándar de la carta colorimétrica (placa orgánica N°3), definido por norma, se puede suponer que la arena contiene sólo una proporción inocua de impurezas orgánicas. En caso de que el color observado sea más oscuro que el tono estándar, es decir que la solución tenga un tono pardusco, el agregado necesariamente será inadecuado para elaborar concreto.

A continuación se presentan los números estándar para los colores de referencia en la Carta Colorimétrica de Gardner.

N° estándar del color Gardner	Placa orgánica N°
5	1
8	2
11	3 (estándar)
14	4
16	5

8. INFORME

Además de la información general sobre el material ensayado, el informe debe contener lo siguiente :

9.1 El número del color más próximo a la coloración de la solución, después del período de 24 h.

9.2 En caso de ser necesario, debe informarse sobre la necesidad de otro tipo de ensayo para determinar la aceptabilidad de el material ensayado.

9. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Si no se observa ningún cambio de color mayor que el especificado (N°3, estándar) no se necesita llevar a cabo otro tipo de pruebas, a menos que haya habido una contaminación con desperdicios industriales.

b. En nuestro medio el uso de soda cáustica comercial es generalizado para la realización de este ensayo.

10.2 De la utilidad del ensayo de Impurezas orgánicas.

a. La materia orgánica presente puede "no" ser dañina para el concreto, o el color puede deberse a minerales con contenido de hierro. Por esta razón, se requieren más pruebas para poder establecer un juicio aceptabilidad del material ensayado.

b. Si el color del líquido que queda encima de la muestra de arena no es más oscuro que el tono amarillo estándar de la carta colorimétrica, definido por norma, se puede suponer que la arena contiene sólo una proporción inocua de impurezas orgánicas. En caso de que el color observado sea más oscuro que el tono estándar, es decir que la solución tenga un tono pardusco, el agregado necesariamente será inadecuado para elaborar concreto.

ENSAYO N°15 GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

REFERENCIAS : AASHTO T 85 - 91
ASTM C 127 - 88

1. ALCANCE

Mediante este procedimiento de ensayo se determina la Gravedad Específica y la Absorción del agregado grueso a usar en concreto hidráulico y asfáltico. La Gravedad Específica puede ser expresada como Gravedad Específica Bulk, Gravedad Específica Bulk (SSS : agregados Saturados Superficialmente Secos), o Gravedad Específica Aparente. La determinación de estas propiedades, se realiza sobre agregados saturados en agua, durante un período de 24 h. Este método de ensayo no es aplicable a agregados ligeros.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES AASHTO

T 19-93	Peso Unitario y Vacíos en agregados
T 84-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
T 27-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
T 255-92	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
T 248-89	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo
T 2-91	Práctica para el muestreo de agregados
M 43-88	Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
R 11-82	Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

2.2 ESTANDARES ASTM

C 29M-91a	Peso Unitario y Vacíos en agregados
C 125-93	Terminología relacionada con concreto y agregados para concreto.
C 128-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
C 136-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
C 566-89	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
C 702-93	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo

/D 75-93 Práctica para el muestreo de agregados
D 448-93 Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
E 12-89 Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregado de peso seco conocido, es sometida a saturación de agua por un período aproximado de 24 h. Durante este tiempo, los poros de las partículas del material se llenan de agua. Después de este período, la muestra se remueve del tanque de saturación, sus partículas son secadas superficialmente y se registra el peso de toda la muestra en esas condiciones (SSS). Subsecuentemente se determina el peso sumergido en agua, de esta misma muestra. Finalmente la muestra de material se seca al horno por 24 h. a 105 ± 5°C. Usando los pesos aquí obtenidos, se pueden calcular tres tipos de Gravedad Específica y la absorción del material pétreo ensayado.

4. SIGNIFICADO Y USO

La Gravedad Específica Bulk es la característica que generalmente se usa para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas constituidas por materiales pétreos, como por ejemplo el concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La Gravedad Específica Bulk es además usada en el cálculo de vacíos en el agregado, ASTM C 29. La Gravedad Específica Bulk, basada en el peso SSS, puede ser usada si el agregado está húmedo, siempre que la Absorción halla sido satisfecha. Contrariamente la Gravedad Específica Bulk basada en el peso seco al horno, es usada para cálculos cuando el agregado esta seco o se asume que está seco.

La Gravedad Específica Aparente se refiere a la Densidad Relativa de el material sólido de las partículas constituyentes, no se incluyen aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua.

El valor de la Absorción es usado para calcular el cámbio en el peso de un agregado, provocado por el agua absorvida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca, cuando se evalua el comportamiento del agregado al contacto del agua durante un período de tiempo largo, tal que se logre alcanzar el potencial de absorción del mismo. Agregados depositados bajo el manto freático, pueden tener absorciones muy altas, si no se les seca ántes de usarlos. Contrariamente, algunos agregados cuando son usados pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la que obtienen durante un período de saturación de 24 h.

Los poros en agregados livianos pueden o no, ser llenados con agua después de un período de inmersión de 24 h. En consecuencia, muchos de estos agregados pueden mantenerse inmersos en agua, por varios días, sin que se satisfagan el potencial de absorción de los mismos.. Es por esta razón que este método de ensayo no es aplicable a ese tipo de materiales.

5. DEFINICIONES

5.1 Absorción

Es el incremento en el peso del agregado, causado por el agua que se deposita en los poros accesibles del material, no incluyendo el agua adherida a la superficie exterior de las partículas.

Se expresa como un porcentaje del peso seco. El Agregado es considerado seco, cuando este a sido mantenido a una temperatura de 110± 5°C por un tiempo suficiente para remover toda el agua de los poros accesibles y de su superficie. Normalmete esto se logra durante períodos de 18 a 24 h de secado al horno a la temperatura mencionada.

5.2 Gravedad Específica

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen de un material y el peso del mismo volumen de agua a una temperatura especificada. Este valor es adimencional.

5.3 Gravedad Específica Aparente

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen de la porción impermeable del agregado a una temperatura especificada y el peso al aire de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

5.4 Gravedad Específica Bulk

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen del agregado (incluyendo los vacíos permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas) a una temperatura especificada y el peso al aire de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

5.5 Gravedad Específica Bulk (SSS)

Es la relación entre el peso al aire de una unidad de volumen del agregado, incluyendo el peso del agua dentro de los vacíos que se depositó después de un período de saturación de 24 h (sin incluir los vacíos entre las partículas ni el agua superficial libre) a una temperatura especificada y el peso al aire de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Balanza de 2610 g. de capacidad y 0.1 g de aproximación, con aditamento para suspender de esta, la canasta de densidades.

6.2 Canasta de densidades construida de una malla N°8, con capacidad para albergar agregados con un diámetro máximo de 1 1/2".

6.3 Tanque de Saturación dentro del cual se introducirá la canasta de densidades conjuntamente con la muestra de material pétreo. Sus paredes no deben deformarse con la presión lateral del agua.

6.5 Malla N°4 y N°8

7. PROCEDIMIENTO

7.1 La muestra para el ensayo debe ser representativa, para lo cual deberá ser tomada de un cuarteo para reducir su tamaño al necesitado. El material que pasa la malla N°4 es eliminado a través de un tamizado seco de la muestra de ensayo. Esta muestra, debe lavarse vigorosamente a través de la malla N°8 con el objeto de remover el polvo adherido a la superficie del agregado grueso u otros recubrimientos presentes en la misma.

El peso mínimo de la muestra de ensayo se presenta en la TABLA 15.1. En algunos casos se requerirá realizar el ensayo en varias fracciones separadas, normalmente esto se realiza cuando más del 15% es retenido sobre la malla 1 1/2" (37.5 mm), el material de mayor tamaño que esta malla deberá por tanto ensayarse por fracciones separadas desde la malla de mayor abertura hasta la de menor abertura

TABLA 15.1 Peso mínimo de la muestra de ensayo para la determinación de la Gravedad Específica de los gruesos. Fuente : ASTM C 127-88 (1993)

Tamaño Nominal Máximo, mm (pul)	Peso mínimo de la muestra de ensayo, Kg (lb)
150 (6)	125 (276)
125 (5)	75 (165)
112 (4 1/2)	50 (110)
100 (4)	40 (88)
90 (3 1/2)	25 (55)
75 (3)	18 (40)
63 (2 1/2)	12 (26)
50 (2)	8 (12)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
25 (1)	4 (8.8)
19 (3/4)	3 (6.6)
12.5 (1/2) o menor	2 (4.4)

Si la muestra es ensayada en dos (2) o más fracciones, se debe determinar la granulometría original de la muestra de acuerdo al ensayo N°9 (ASTM C 136-84a), incluyendo las mallas usadas para la separación de los tamaños en fracciones. En el cálculo de la granulometría del material se puede ignorar la cantidad de material más fino que la malla N°4 o que la N°8, siempre y cuando la muestra halla sido tomada en forma representativa.

7.2 Secar el material obtenido a una temperatura de 110 ± 5°C durante 24 h. Luego dejar que se enfríe a una temperatura que sea confortable su manipulación. Seguidamente se sumerge el agregado en agua a la temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

7.3 Cuando los valores de Absorción y Gravedad Específica serán usados en proporcionamiento de mezclas de concreto en las cuales los agregados intervendrán en sus condiciones naturales de humedad, el requerimiento para el secado inicial puede ser eliminado. Si las superficies de las partículas de la muestra han sido guardadas en condición húmeda hasta la realización del ensayo, la condición de saturación por 24 h, también puede ser eliminada.

7.4 Remover la muestra de ensayo del agua y envolverla en un pañal absorbente hasta eliminar el agua superficial libre. Las partículas grandes deben ser secarse individualmente. Puede utilizarse un secador de pelo para realizar la eliminación del agua superficial, pero debe tenerse cuidado de no secar el agua depositada en los poros accesibles de las partículas del material. Luego que se ha logrado la condición Saturada Superficialmente Seca (SSS) se pesa al aire la muestra y se registra su peso como B .

7.5 Inmediatamente después del secado superficial, se coloca la muestra en la canasta de densidades, la cual ha sido destarada previamente en la balanza, y se registra el peso del material sumergido en agua como C . El agua debe tener una temperatura de 25°C y una densidad de 997 ± 2 Kg/m^3 . Si una temperatura diferente es utilizada, los valores calculados deberán multiplicarse por un factor de corrección obtenido de la TABLA 4.1 u obteniendo el cociente entre la Gs del agua a temperatura de ensayo y la Gs del agua a 25°C.

7.6 Se seca la muestra de ensayo hasta peso constante a una temperatura de 110±5°C durante 24 h , después de lo cual se deja enfriar a temperatura ambiente para proceder a pesarla en estas condiciones. Este peso seco se registra como peso seco al aire, A .

8. CÁLCULOS

8.1 Gravedad Específica Bulk

$$Gs(s) = \frac{A}{B - C} \qquad \text{(Ec. 15.1)}$$

8.2 Gravedad Especifica Bulk (SSS)

$$Gs(sss) = \frac{B}{B - C} \qquad \text{(Ec. 15.2)}$$

8.3 Gravedad Específica Aparente

$$Gs(a) = \frac{A}{A - C} \qquad \text{(Ec.15.3)}$$

8.4 Gravedad Específica Ponderada.

Cuando la muestra ha sido ensayada en fracciones separadas, el valor promedio de la Gravedad Específica Bulk respecto al peso seco, Gs(s), la Gravedad Específica Bulk respecto a su peso Saturado Superficialmente Seco, Gs(sss), o la Gravedad Específica Aparente, Gs(a), pueden ser calculados como el PROMEDIO PONDERADO de los valores individuales, utilizando la siguiente Ec. 15.4 :

$$G = \frac{1}{\frac{P1}{100G1} + \frac{P2}{100G2} + \ldots\ldots\ldots + \frac{Pn}{100Gn}} \qquad \text{(Ec.15.4)}$$

8.5 Absorción

$$A\% = \frac{B - A}{A} \times 100 \qquad \text{(Ec. 15.5)}$$

8.6 Absorción Ponderada

Cuando la muestra ha sido ensayada en fracciones de tamaños separados, el valor promedio de la Absorción de los valores individuales, se encuentra así :

$$A = \frac{P1A1}{100} + \frac{P2A2}{100} + \ldots\ldots\ldots + \frac{PnAn}{100} \qquad \text{(Ec. 15.6)}$$

SIMBOLOGIA

A	=	Peso al aire del material secado al horno, g.
B	=	Peso al aire del material, en condición Saturada Superficialmente Seca, g.
C	=	Peso Sumergido (en agua) del material SSS, g.
Gs(s)	=	Gravedad Específica Bulk, en base al peso A, sin unidades.
Gs(sss)	=	Gravedad Específica Bulk, en base al peso B, sin unidades.
Gs(a)	=	Gravedad Específica Aparente, en base al peso A, sin unidades.
G	=	Gravedad Específica Ponderada, sin unidades.
A%	=	Absorción, valor porcentual.
A	=	Absorción Ponderada, valor porcentual.
G1,G2,Gn	=	Gravedades Específicas de cada fracción de tamaño ensayada.
P1,P2,Pn	=	Porcentaje de cada fracción presente en la muestra original.
A1, A2,An	=	Absorciones de cada fracción.

9. INFORME

Además de la información general relativa a la muestra ensayada, el informe debe contener lo siguiente :

9.1 El valor de Gravedad Específica con aproximación de 0.01, e indicar el tipo de Gravedad Específica desarrollado ,Bulk, Bulk(sss) o Aparente .

9.2 El valor de la Absorción con aproximación de 0.1%

9.3 Si la Gravedad Específica y la Absorción fueron determinadas con o sin secado de los agregados.

10. COMENTARIOS

10.1. Del proceso de ensayo

a. Cuando se ensayan agregados gruesos con tamaños nominales máximos grandes se requieren ensayos largos, en estos casos resulta más conveniente desarrollar el ensayo en dos o más submuestras. El valor obtenido de cada fracción debe combinarse de acuerdo a la Ec. 15.4

b. Los valores de la Absorción y la Gravedad Específica Bulk (SSS), pueden ser significativamente altos para agregados que no han sido secados al horno antes

de la saturación. Este es el caso especial de partículas con diámetro mayor a las 3" (75 mm) ya que el agua no puede entrar los poros centrales de la partícula en el período de saturación especificado.

c. En la determinación del peso sumergido, la canasta debe ser sumergida completamente. El alambre que sostiene la canasta debe sujetarse de la balanza en una posición tal que su peso no produzca momento en el apoyo de la misma.

10.2 De la utilidad del ensayo de Gravedad Específica.

a. Agregados con Gravedades Específicas bajas (< 2.000) no son apropiados para mezclas de superficie, ya que pueden catalogarse como agregados livianos, propensos a excesiva pulimentación, a causa de las cargas vehiculares.

b. El valor de Gravedad Específica y Absorción son utilizados en el diseño de mezclas para superficie, así por ejemplo, la Gravedad Especifica es utilizada en el análisis de DENSIDAD-VACÍOS de las mezclas asfálticas. En tanto en el diseño de mezclas hidráulicas, la Absorción se utiliza para determinar el Agua efectiva de mezclado.

c. Estos valores pueden ser un indicativo de la calidad de los materiales pétreos, así por ejemplo, Absorciones altas indicaran agregados con alto contenido de poros permeables, lo que los vuelve de mala calidad para mezclas de superficie.

ENSAYO N°16 **GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MÉTODO DEL PICNOMETRO)**

REFERENCIAS : **AASHTO T 84 - 93**
ASTM C 128- 88

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación de la Gravedad Específica Bulk y Aparente de agregados finos, así como también la absorción de dichos materiales.

Este ensayo requiere que el agregado a usar, haya sido saturado durante un período de 24 h, ya que para la determinación de los parámetros mencionados, se usa la condición Saturada Superficialmente Seca de los agregados.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES AASHTO

T 19-93	Peso Unitario y Vacíos en agregados
T 84-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
T 27-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
T 255-92	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
T 248-89	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo
T 2-91	Práctica para el muestreo de agregados
M 43-88	Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
R 11-82	Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

2.2 ESTANDARES ASTM

C 29M-91a	Peso Unitario y Vacíos en agregados
C 125-93	Terminología relacionada con concreto y agregados para concreto.
C 128-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
C 136-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
C 566-89	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
C 702-93	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo
D 75-93	Práctica para el muestreo de agregados
D 448-93	Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
E 12-89	Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de agregado fino (pasa malla N° 4), es saturada por un período de 24 h, después del cual se seca superficialmente (condición SSS), para introducirla a un picnómetro en donde se registrará el peso de su volumen de agua desplazado. La Gravedad Específica determinada con este peso será Gs. , Bulk con base al peso SSS. La Gravedad Específica tambien puede ser determinada con base a su peso seco , Gs(s) para lo cual se hace necesario conocer el peso seco que corresponde al material saturado superficialmente seco introducido al picnómetro. La Absorción del agregado fino es muy útil para este propósito, ya que conociendo su valor se puede determinar el peso seco de la muestra de ensayo.

4. SIGNIFICADO Y USO.

La Gravedad Específica Bulk es la característica que generalmente se usa para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas constituidas por materiales pétreos, como por ejemplo el concreto hidráulico, concreto asfáltico y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas sobre la base de un volumen absoluto. La Gravedad Específica Bulk es además usada en el cálculo de vacíos en el agregado, ASTM C 29. La Gravedad Específica Bulk, basada en el peso SSS, puede ser usada si el agregado está húmedo, siempre que la Absorción halla sido satisfecha. Contrariamente la Gravedad Específica Bulk basada en el peso seco al horno, es usada para cálculos cuando el agregado esta seco o se asume que está seco.

La Gravedad Específica Aparente se refiere a la Densidad Relativa de el material sólido de las partículas constituyentes, no se incluyen aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua.

El valor de la Absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado, provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca, cuando se evalúa el comportamiento del agregado al contacto del agua durante un período de tiempo largo, tal que se logre alcanzar el potencial de absorción del mismo. Agregados depositados bajo el manto freático, pueden tener absorciones muy altas, si no se les seca antes de usarlos. Contrariamente, algunos agregados cuando son usados pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la que obtienen durante un período de saturación de 24 h.

Los poros en agregados livianos pueden o no, ser llenados con agua después de un período de inmersión de 24 h. En consecuencia, muchos de estos agregados pueden mantenerse inmersos en agua, por varios días, sin que se satisfagan el potencial de absorción de los mismos.. Es por esta razón que este método de ensayo no es aplicable a ese tipo de materiales.

5. DEFINICIONES

NOTA 1 : Las definiciones necesarias en este ensayo son las mismas que se encuentran el ENSAYO N° 15 (GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS GRUESOS).

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Balanza de 2610 g. de capacidad, con aproximación de 0.1 g.

6.2 Picnómetro de vidrio, con capacidad para 500 ml .

6.3 Cono truncado, de 40 ± 3 mm de diámetro superior , 90 ± 3 mm de diámetro inferior y una altura de 75 ± 3 mm . Debe estar hecho de metal con 0.8 mm de espesor.

6.4 Pisón metálico para compactar arena, con un peso de 340 ± 15 g y una superficie circular de 25 ± 3 mm de diámetro.

6.5 Misceláneo

Tanque de saturación, papel periódico, espátula, termómetro.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Se elige una muestra representativa, del material que pasa la malla N°4, se sumerge en agua por un período de 24 h, después del cual se saca para proporcionarle la condición Saturada Superficie Seca (SSS). Esta condición se logra eliminando humedad superficial libre del material, a través del uso de un papel absorbente, el material se extiende sobre este papel y otra porción del mismo papel se extiende sobre el material. Este irá perdiendo humedad superficial libre progresivamente. Para comprobar la presencia de agua superficial libre en las partículas del agregado, se vierte una porción del material dentro del cono truncado de tal forma que este se llene completamente. Luego se aplican 25 golpes con el pisón compactador, sobre la superficie superior de la arena contenida en el molde. Cada golpe deberá caer de una altura de 5 mm (0.2 pul) sobre el borde superior del cono. En seguida se elimina el cono, en forma vertical (hacia arriba) y en forma lenta para no dañar el material compactado que contiene en su interior. Si el agregado mantiene la forma de cono truncado, indicará que existe agua superficial libre en los agregados, si por lo contrario el material se desintegra de las aristas del cono, manteniendo parte de su forma en forma de cono, se dirá que el agregado tiene la condición SSS.

7.2 Para determinar la Absorción del material, se pesa al aire una muestra representativa de 500 g de peso del material SSS, y se anota como "S". Se seca al horno por un período de 24 h. a una temperatura de 110 ± 5°C y se registra su peso seco al aire a temperatura ambiente como "A". La diferencia entre el peso "S" y el peso seco "A" dividida por el peso seco "A", dará como resultado la Absorción del material.

7.3 Se determina el peso del picnómetro más agua hasta su marca de aforo, a la temperatura de ensayo, registrando este peso como B.

7.4 Se pesa al aire una muestra de 500 ± 25 g de material SSS y se anota como "S". Se deposita dentro del picnómetro teniendo cuidado de no perder material durante esta actividad. Un procedimiento alternativo podría ser, depositar una cantidad de material dentro del picnómetro y pesar este conjunto, se conocerá el peso del material depositado restando el peso de este conjunto menos el peso del picnómetro vacío.

7.5 Se deposita agua en el picnómetro hasta aproximadamente 90% de su capacidad y se tapa herméticamente . Se elimina el aire atrapado en el material, usando cualquier método de succión de vacíos. Aforar luego el picnómetro y verificar que se encuentre completamente seco en su exterior. Se registra el peso del conjunto Picnómetro + Agua + Agregado, como C. El peso seco de la muestra se obtiene indirectamente de la Ec. 16.4.

8. CÁLCULOS

8.1 Gravedad Específica Bulk (base peso seco)

$$Gs(s) = \frac{A}{B + S - C} \qquad \text{(Ec.16.1)}$$

8.2 Gravedad Específica Bulk (base peso SSS)

$$Gs(sss) = \frac{S}{B + S - C} \qquad \text{(Ec.16.2)}$$

8.3 Gravedad Específica Aparente (base peso seco)

$$Gs(a) = \frac{A}{B + A - C} \qquad \text{(Ec. 16.3)}$$

8.4 Absorción.

$$A\% = \frac{S - A}{A} \times 100 \qquad \text{(Ec. 16.4)}$$

SIMBOLOGIA

A = Peso al aire del material seco al horno, g
B = Peso el picnómetro lleno con agua a temperatura de ensayo, g
C = Peso del conjunto Picnómetro + Agua + Muestra, a temp. de ensayo, g
S = Peso al aire del material en condición SSS, g.

9. INFORME

Además de la información general relativa a la muestra ensayada, el informe debe contener lo siguiente :

9.1 El valor de Gravedad Específica con aproximación de 0.01, e indicar el tipo de Gravedad Específica desarrollado ,Bulk, Bulk(sss) o Aparente .

9.2 El valor de la Absorción con aproximación de 0.1%

9.3 Si la Gravedad Específica y la Absorción fueron determinadas con o sin secado de los agregados.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Los valores de la Absorción y la Gravedad Específica Bulk (SSS), pueden ser significativamente altos para agregados que no han sido secados al horno antes de la saturación.

b. Los métodos AASHTO Y ASTM para este ensayo indican distintos tiempos de saturación, (15 a 19 h y 24 ± 4 h, respectivamente). Se ha encontrado que la diferencia entre ambos métodos es insignificante sobre la presición del ensayo.

10.2 De la utilidad del ensayo de Gravedad Específica.

a. Agregados con Gravedades Específicas bajas (< 2.000) no son apropiados para mezclas de superficie, ya que pueden catalogarse como agregados livianos, propensos a excesiva pulimentación, a causa de las cargas vehiculares.

b. El valor de Gravedad Específica y Absorción son utilizados en el diseño de mezclas para superficie, así por ejemplo, la Gravedad Especifica es utilizada en el análisis de DENSIDAD-VACÍOS de las mezclas asfálticas. En tanto en el diseño de mezclas hidráulicas, la Absorción se utiliza para determinar el Agua efectiva de mezclado.

c. Estos valores pueden ser un indicativo de la calidad de los materiales pétreos, así por ejemplo, Absorciones altas indicaran agregados con alto contenido de poros permeables, lo que los vuelve de mala calidad para mezclas de superficie.

ENSAYO N°17 PESO UNITARIO Y VACÍOS EN AGREGADOS

REFERENCIAS : AASHTO T 19-93
ASTM C 29M-90

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación del Peso Unitario en material pétreo en condición compactada o suelta y el cálculo de vacíos en agregados finos, gruesos o mezclas de agregados basado sobre la misma determinación. Este método es aplicable a agregados cuyo tamaño nominal máximo del agregado no excede de seis (6") pulgadas.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES AASHTO

T 84-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
T 85-91	Gravedad Específica y Absorción de agregado grueso
T 27-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
T 255-92	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
T 248-89	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo
T 2-91	Práctica para el muestreo de agregados
M 43-88	Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
R 11-82	Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

2.2 ESTANDARES ASTM

C 125-93	Terminología relacionada con concreto y agregados para concreto.
C 128-93	Gravedad Específica y Absorción de agregado fino
C 127-88	Gravedad Específica y Absorción de agregado grueso
C 136-93	Granulometría de Agregados Gruesos y Finos
C 566-89	Contenido de Humedad Total de agregados, usando secado
C 702-93	Práctica para reducir muestras de agregados en el campo a tamaños de ensayo
D 75-93	Práctica para el muestreo de agregados
D 448-93	Clasificación de tamaños de agregados para caminos y construcción de puentes.
E 12-89	Terminología relacionada con la Densidad y la Gravedad Específica de sólidos, líquidos y gases.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de material pétreo representativa, es depositada en un recipiente de volumen conocido en diferentes condiciones (suelta o compactada). El material colocado en condición suelta tendrá menos peso que cuando se coloca compactado (con una varilla de 5/8" con punta de bala).

4. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo es ampliamente usado para determinar el valor del peso unitario de materiales, el cual es muy necesario en varios métodos de selección y proporcionamiento de mezclas de concreto.

El peso unitario también puede ser usado para determinar la relación masa/volumen, la cual es muy útil en la conversión de cantidades durante las compras de materiales acordadas. Aunque los agregados se transporten o almacenen con humedad absorbida o sobre su superficie, en este ensayo se determinará el peso unitario sobre la base del peso seco del material.

5. DEFINICIONES

5.1 Masa

Es la cantidad de materia existente en un cuerpo. Sus unidades son Kg, Lb o derivados de estas.

5.2 Peso Unitario

Es la relación entre el peso y el volumen de un cuerpo. El término "peso" significa la fuerza de la gravedad actuando sobre una masa.

5.3 Peso

Es la fuerza ejercida por la gravedad sobre un cuerpo. El peso es igual a la masa de un cuerpo multiplicada por la aceleración de la gravedad y puede ser expresado en unidades absolutas (Newtons, libras) o en unidades gravitacionales (Kgf, lbf). Por ejemplo sobre la superficie de la tierra , un cuerpo con una masa de 1 Kg tiene un peso de 1 Kgf (aprox. 9.81 Nt), si la masa es 1 Lb, su peso será de 1Lbf (aprox. 4.45 Nt). El valor de la aceleración de la gravedad se acepta como 9.81 m / s^2 (32.2 pie/s^2).

5.4 Vacíos (por volumen unitario de agregados)

Es el espacio entre las partículas de una masa de agregados, el cual no esta ocupado por materia sólida mineral.

Los vacíos en las partículas pueden ser permeables e impermeables, estos no son considerados en este método de ensayo.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTA

6.1 Balanza de 20 Kg. de capacidad con 1.0 g de aproximación.

6.2 Varilla apisonadora con diámetro de 5/8" y aproximadamente 24" de longitud, teniendo el extremo en forma de punta de bala.

6.3 Medida volumétrica (molde volumétrico), la cual puede ser un cilindro metálico con agarraderas. Debe tener una altura igual a su diámetro pero en ningún caso su altura será menor del 80% o mayor del 150% del diámetro. La capacidad de la medida deberá ser conforme a los límites de la TABLA 17.1

6.4 Cucharón de tamaño conveniente para manejar los agregados.

TABLA 17.1 Distintas capacidades del molde volumétrico. Fuente ASTM C 29M-91a

Tamaño nominal máximo del agregado		Capacidad del molde	
pul	mm	pie3	m^3
1/2	12.5	1/10	0.0028
1	25.0	1/3	0.0093
1 1/2	37.5	1/2	0,014
3	75.0	1	0,028
4 1/2	112.0	2 1/2	0,07
6	150.0	3 1/2	0,1

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Tomar una muestra representativa en cantidad. El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente de 1.25 a 2.0 veces la cantidad requerida para llenar el molde volumétrico. La muestra debe estar seca a peso constante, preferiblemente con secado al horno a 110 ± 5°C durante 24 h.

7.2 Calibrar el molde volumétrico, haciendo uso de un método controlado de laboratorio, ya sea midiendo las dimensiones del mismo o llenándolo con agua a temperatura ambiente. Este volumen debe ser expresado en m^3 y se registra como V. Se registra además el peso de este molde como T. Dentro de un laboratorio en funciones, este volumen deberá ser recalibrado por lo menos cada año.

7.3 Para obtener el PESO VOLUMETRICO SUELTO, se llena el molde volumétrico con agregados de la muestra de ensayo, dejando caer los agregados desde el cucharón, el cual deberá estar ubicado a una altura que no exceda las 2" del borde superior del molde. El material deberá formar un cono sobre la parte superior del molde. Luego se enrasa con la varilla apisonadora hasta lograr que los agregados estén aproximadamente a nivel con dicha parte superior del molde. Se registra el peso del conjunto Molde + muestra como A.

7.4 Para obtener el PESO VOLUMETRICO VARILLADO, se llenará el molde con agregados, haciéndolo en tres (3) capas sucesivas. Cada capa deberá apisonarse con la varilla de 5/8" con un número de varillazos igual a 25. Deberá procurarse que cada golpe de la varilla no penetre en más de 1 cm (1/2") dentro de la capa anterior varillada. Al final de la tercera capa, con el material sobrepasando el borde superior del molde, se enrasa este de tal manera que los agregados estén aproximadamente a nivel con dicha parte superior del molde. Se registra el peso del conjunto Molde + muestra varillada como B.

8. CÁLCULOS

8.1 Peso Unitario Suelto

$$PU = \frac{A - T}{V} \qquad \text{(Ec. 17.1)}$$

8.2 Si se desea calcular el Peso Unitario del material, con el agregado en condición SSS, se utilizará la siguiente Ec. 17.2

$$PU(sss) = M.\ [\ 1 + (A\%/100)] \qquad \text{(Ec. 17.2)}$$

En donde :

M = Peso del material seco contenido en el molde, en condición suelta o varillada.

A% = Absorción del agregado determinado según el ensayo N° 15.

8.3 Peso Unitario Varillado

$$PU = \frac{B - T}{V} \qquad \text{(Ec. 17.3)}$$

8.4 Contenido de Vacíos

$$\%V = \frac{100\,[(Gs(s) \times W) - M]}{Gs(s) - W} \qquad \text{(Ec.17.4)}$$

Donde :

Gs(s) = Gravedad Específica Bulk (base peso seco), del material

W = Peso Unitario Suelto o Varillado del material

M = Densidad del agua

9. INFORME

Además de la información general relativa a la procedencia de la muestra, el informe de laboratorio deberá contener lo siguiente :

10.1 Peso Unitario Suelto y Varillado, expresado mediante un número entero.

10.2 Contenido de Vacíos, en el peso unitario suelto y varillado.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Las variaciones entre un peso volumétrico y otro de un mismo material, realizado por un solo operador no deberán variar en más de 14 kg/m3 .

b. Durante el varillado de tamaños grandes del agregado grueso, puede dificultar la penetración de cada capa introducida, para esto será necesario aplicar un vigoroso esfuerzo con el fin de lograr varillar cada capa sin que este varillado penetre significativamente en la anterior capa varillada.

c. Es necesario realizar por lo menos 3 determinaciones del peso unitario, el resultado incluido en el informe será el promedio de estas tres determinaciones.

d. El proceso de varillado tiene que ser ejecutado por una sola persona, ya que esto podría conllevar a resultados dispersos entre uno y otro ensayo.

e. Cuando se realiza el Peso Unitario Suelto o Varillado, el material debe vaciarse en el recipiente desde una altura no mayor de 2 pul (50 mm), respecto al borde superior del molde volumétrico.

f. Para lograr representatividad del ensayo, se necesita un volumen mínimo de material, el cual es especificado en la TABLA 17.1

10.2 De la utilidad del ensayo de Peso Volumétrico.

a. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consisten en elaborar una curva (parecida a la del Proctor) en la cual se gráfica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

b. En la práctica ingenieril el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en los concretos hidráulicos o asfálticos.

II. ENSAYOS DE ASFALTOS

II.1 MARCO TEÓRICO

II.1.1 INTRODUCCIÓN

Al igual que para los materiales pétreos y suelos, para el asfalto se vuelve también necesario conocer sus propiedades reológicas y su composición, a fin de determinar si este mismo es de la calidad que se ha contractuado. Esto se vuelve necesario, en vista de que la estabilidad de las mezclas asfálticas, depende en gran medida de las propiedades mismas del asfalto utilizado para elaborarlas.

Pero además de esta importancia, se vuelve necesario estudiar las propiedades de los asfaltos ya que esto nos permitirá determinar el uso que se le pueda dar a los mismos, según sea su comportamiento ante factores naturales e impuestos, presentes en el medio que lo rodeará, una vez colocado dentro de una mezcla asfáltica.

Así pues, en esta segunda parte del Capítulo II, se desarrollaran aquellos ensayos de asfaltos mediante los cuales se podrán determinar las propiedades de los asfaltos según sea la forma en que este se vaya a aplicar para conformar la mezcla bituminosa a utilizar.

II.1.2 MATERIALES ASFALTICOS PARA PAVIMENTACION OBTENIDOS A PARTIR DE LA DESTILACION DEL PETROLEO.

La FIG IV.1 es un esquema de la obtención del petróleo y del proceso de destilación a que se somete en las refinerías para obtener los diferentes materiales asfálticos utilizados en pavimentación.

El petróleo crudo se hace circular a gran presión y velocidad por una tubería situada en el interior de un horno que alcanza elevadas temperaturas. Calentado a las temperaturas apropiadas se le introduce a una torre de destilación en donde se vaporizan los componentes más ligeros o más volátiles, que son extraídos y sometidos a un proceso de condensación y refinación, para obtener de ellos nafta, gasolinas, kerosinas, aceites ligeros y una amplia gama de otros productos.

A continuación se presentan las definiciones de los términos relacionados con los materiales para caminos y pavimentos. Estas definiciones son las indicadas en la especificación ASTM D 8 - 89.

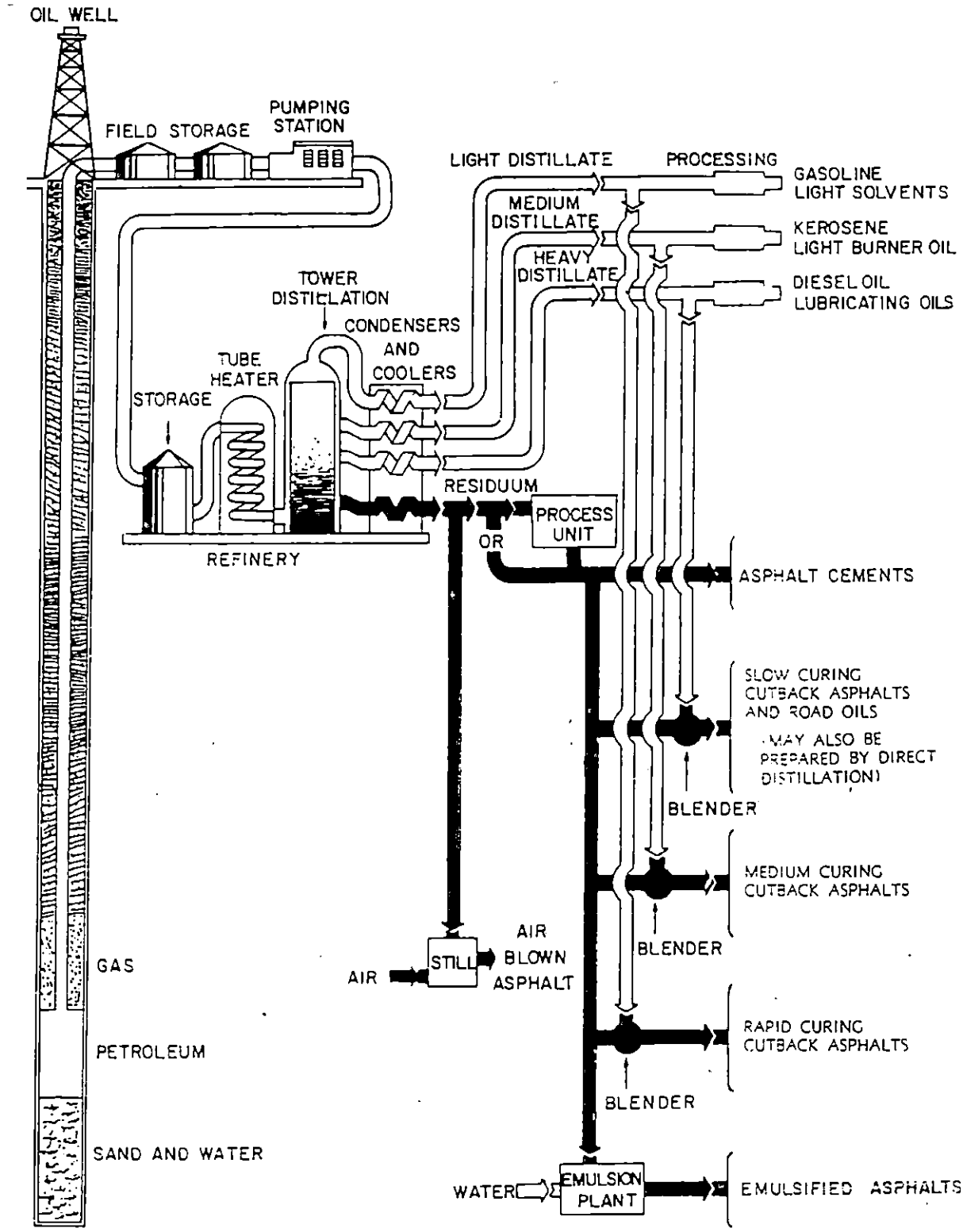


FIG IV.1 Esquema del tratamiento del petróleo para obtener los diversos productos asfálticos. Fuente : Instituto Norteamericano del Asfalto.

ASFALTO

Es un material cementante, de color café oscuro a negro en el cual los constituyentes principales son betumenes, los cuales pueden ser naturales u obtenidos del procesamiento del petróleo.

Un asfalto esta compuesto por tres fracciones, a saber :

a. Asfaltenos : Núcleos de hidrocarburos más pesados.
b. Resinas : Núcleos de hidrocarburos más ligeros.
c. Aceites : Medio viscoso.

Estas fracciones son las encargadas de darle resistencia, moldeabilidad y fluidez al asfalto. En la FIG. IV.2, pueden observarse gráficamente estos tres componentes del asfalto.

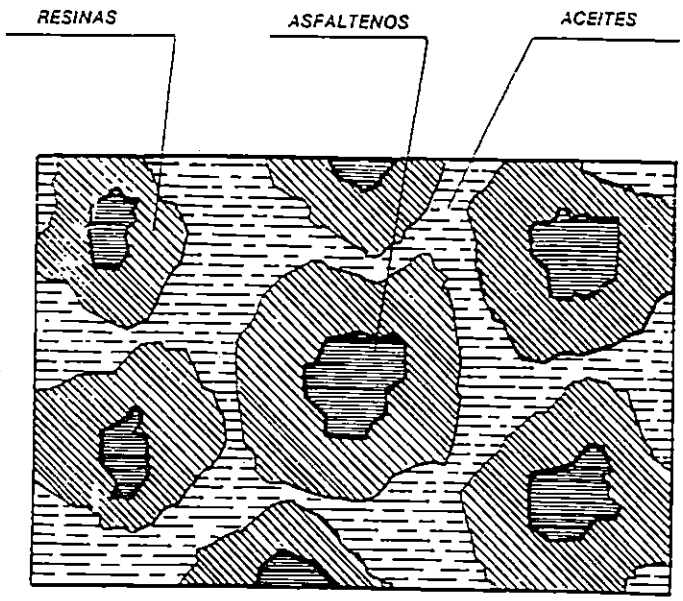


FIG. IV.2 Representación esquemática de los componentes del asfalto. Fuente : Sector de Comunicación y Transportes, México, D.F.

Los asfaltenos son responsables de las características de dureza de los asfaltos. Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes o aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para hacerlos trabajables.

Cuando los núcleos de asfaltenos y resinas, se encuentran dentro de una gran proporción de aceites, la consistencia del asfalto está fijada por los aceite. Si por el contrario esta proporción de aceites es pequeña, la consistencia del asfalto estará fijada por el contacto y/o fricción que existe entre los asfaltenos. Esto quiere decir que si por destilación, por ejemplo, reducimos el contenido de aceites, los núcleos de asfaltenos comienzan a ponerse en contacto y la fricción que este fenómeno origina, hace que el asfalto adquiera viscosidad. La proporción en que exista cada uno de los componentes determina, por tanto, la consistencia del asfalto. En el caso de los Cementos Asfálticos, predominan los asfaltenos y las resinas y es bajo el contenido de aceites.

Los aceites protegen a los asfaltenos y a las resinas de la oxidación provocada por los agentes del intemperismo y es lógico pensar que esta protección será más eficiente, cuanto mayor sea la proporción de aceite en el asfalto. Esta acción del intemperismo produce cambios en la estructura interna del asfalto, haciendo que con el tiempo los aceites se transformen en parafinas y éstas a su vez en asfaltenos, lo cual hace aumentar la dureza del asfalto al incrementarse la proporción de los citados asfaltenos.

BETUMEN

Es una clase de agente cementante, natural o elaborado, de color negro o color oscuro (sólido, semisólido o viscoso), compuesto principalmente por hidrocarburos con pesos moleculares altos, los cuales son comunes en asfaltos, alquitranes y resinas.

EMULSIONES ASFALTICAS

Son dispersiones de diminutos glóbulos de asfalto en agua, las cuales se logran mediante el uso de un agente activador de superficie o emulsificante.

Las emulsiones ofrecen el asfalto en forma líquida para su aplicación o mezcla a temperatura ambiente.

Cuando se separan y el agua se evapora (rompimiento de la emulsión), el asfalto queda como residuo.

Una emulsión esta formada por tres fases y tres componentes :

Las fases son :

a. Fase continua o externa
b. Fase discontinua o interna
c. INTERFASE (Area de contacto entre las fases externa e interna)

Los componentes de estas fases son :

a. Agua (Constituye la fase continua)
b. Asfalto (Constituye la interfase)
c. Agente emulsificador (adherido a la interfase)

Los AGENTES EMULSIFICADORES son ciertos productos químicos, que facilitan la formación de las dispersiones de los glóbulos de asfalto y que los mantienen en suspensión hasta que la emulsión de que forman parte es mezclada con un material pétreo.

Estos emulsificantes pueden ser:
a) Jabones emulsificantes (sales industriales)
b) Derivados del cebo
c) Gomas
d) Gelatinas

Para las emulsiones asfálticas normales que se usan en carreteras, los porcentajes de emulsificador o emulsificante, varían de 0.5 a 1.0% en peso, respecto a la emulsión. Esta cantidad proporciona una protección razonable contra la coagulación de las partículas de asfalto, pero en ciertos casos es necesario dar una protección adicional y se requiere una cantidad mayor de emulsificante, que actúa como estabilizante de la emulsión, de aquí el nombre de EMULSIONES ESTABILIZADAS.

Las Emulsiones Asfálticas son divididas en tres categorías : Aniónicas, Catiónicas y Noniónicas. En la práctica, los primeros dos grupos son ordinariamente usados en la construcción y mantenimiento de carreteras. No obstante, las emulsiones Noniónicas son ampliamente usadas en las investigaciones para el logro de avances tecnológicos.

Las clases Aniónicas y Catiónicas, se refieren al tipo de carga eléctrica que rodea a las partículas de asfalto, así si las partículas de asfalto están cargadas NEGATIVAMENTE (-) se tendrá una emulsión ANIONICA, por el contrario si las partículas están cargadas POSITIVAMENTE (+) la emulsión presente es del tipo CATIONICA.

La forma utilizada para determinar el tipo de carga es por inmigración de las partículas de asfalto hacia los polos introducidos dentro de la emulsión así, las emulsiones Anionicas emigran hacia el ANODO (POLO NEGATIVO), ya que este a adquirido carga positiva cuando se hizo circular la corriente eléctrica a través del sistema. Por su lado en las emulsiones CATIONICAS, las partículas de asfalto emigran hacia el CATODO (POLO POSITIVO), el cual se ha cargado negativamente en el momento de hacer circular la corriente eléctrica a través del sistema.

Las emulsiones asfálticas son ampliamente clasificadas sobre la base de cuan rápido el asfalto vuelve a juntarse completamente (Resistencia a la Coagulación).

Esta clasificación se establece en base a tres tipos de emulsiones asfálticas, a saber :

1. Emulsiones Inestables o de Rompimiento Rápido (contienen una cantidad mínima de emulsificante)

2. Emulsiones Semiestables o de rompimiento lento, con mayor cantidad de emulsificante que las anteriores.

3. Emulsiones altamente estabilizadas o de rompimiento lento, que son las que contienen la mayor proporción de emulsificante.

Así los términos RS, MS y SS han sido adoptados para simplificar y estandarizar esta clasificación. Estos solamente son términos relativos y significan CURADO RAPIDO, CURADO MEDIO y CURADO LENTO, respectivamente. La tendencia a unirse, que tengan los glóbulos de asfalto, está en íntima relación con el mezclado de la emulsión, durante su utilización. Las emulsiones RS tienen poca o ninguna habilidad para mezclarse con un agregado; una emulsión MS puede mezclarse con agregados gruesos pero no con finos y una emulsión SS es designada para mezclarse con agregados finos y gruesos.

Las emulsiones son ampliamente subdivididas mediante una serie de números relacionados con la viscosidad de la misma y con la dureza de la base asfáltica. La letra "C" colocada enfrente del tipo de emulsión, denota que la misma es del tipo CATIONICA. La ausencia de la "C" denota que la emulsión es ANIONICA. Por ejemplo RS - 1 es ANIONICA O NONIONICA y CRS-1 es CATIONICA con grado de viscosidad 1.

La "h" que sigue a ciertos grados, simplemente significa que es usada, una base asfáltica dura. El "HF" presidiendo a algunos grados MS, significa ALTA FLOTACION, medible a través de la prueba de FLOTACION (ASTM D 139 o AASHTO T 50). Las emulsiones de ALTA FLOTACION (HF) tienen la cualidad de colocar una película gruesa de asfalto sobre el agregado, debido a la adición de ciertos químicos, proporcionando mayor impermeabilidad a la mezcla elaborada.

Algunas agencias especifican una designación para la mezcla emulsión - arena, esta se denota con CMS-2s, la cual contiene mas solvente que otros grados catiónicos.

Todos estos tipos de emulsiones pueden observarse en las TABLAS ANEXAS para los materiales asfálticos, los cuales se presentaran más adelante.

EMULSION ANIONICA

Es el tipo de emulsión que tiene un agente emulsificador particular, el cual esta constituido por una carga negativa predominante, sobre la fase discontinua.

EMULSION CATIONICA

Es el tipo de emulsión que tiene un agente emulsificador particular, el cual esta constituido por una carga positiva predominante, sobre la fase discontinua.

CEMENTO ASFALTICO

Es todo asfalto fluido o semisólido, con penetraciones entre 5 a 300 dmm, bajo condiciones normalizadas de ensayo, especialmente preparado para guardar calidad y consistencia durante su uso directo en la construcción de pavimentos bituminosos.

ASFALTENOS

Es la fracción precipitada (sólida) del asfalto con hidrocarburos de peso molecular alto, mediante un solvente de nafta parafinada, a una relación especificada de Solvente- Asfalto (Ver FIG. IV.2).

RESINAS O NAFTENOS

Es la fase intermedia (plástica), no precipitada, de la solución coloidal formada por los hidrocarburos, que constituyen al asfalto(Ver FIG. IV.2).

ACEITES

Es la fase acuosa (viscosa) de un asfalto, que protege a los asfaltenos y resinas, de la acción de los agentes del intemperismo(Ver FIG. IV.2).

ASFALTOS DILUIDOS (CUT-BACK)

Son los asfaltos que han sido diluidos con destilados del petróleo, como gasolinas, kerosinas y aceites.

ACEITES DIESEL

Aceites lubricantes obtenidos de la destilación pesada, en el procesamiento del petróleo.

KEROSENE

Aceites volátiles obtenidos de la destilación media en el procesamiento del petróleo.

GASOLINA

Solventes volátiles obtenidos de la destilación primaria en el procesamiento del petróleo.

Los CUT-BACK se clasifican según el tipo de solvente utilizado para diluir el asfalto, así tendremos :

a. Asfaltos (cut-back) de curado rápido(RC) : Diluidos con gasolina
b. Asfaltos (cut-back) de curado medio(MC) ; Diluidos con kerosene
c. Asfaltos (cut-back) de curado lento (SC) : Diluidos en aceite diesel.

El Asfalto es parte integral de muchos petróleos en los cuales existen en solución. Cuando se refinan dichos petróleos para separar las fracciones volátiles, el residuo que queda es el asfalto. Procesos análogos que ocurren en la naturaleza han formado depósitos naturales de asfalto, algunos prácticamente libres de materias extrañas y otros en que el asfalto se encuentra mezclado con cantidades variables de ciertos minerales, agua y otras sustancias. Los depósitos naturales en que el asfalto se presenta dentro de la estructura de una roca porosa se conocen comúnmente con el nombre de Asfaltos de roca o también Rocas Asfálticas.

El asfalto es de particular interés al Ingeniero Civil, porque es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable. Es una sustancia termoplástica, que imparte flexibilidad controlable a las mezclas de agregados minerales con los cuales se combina. Es además muy resistente a la acción de la mayor parte de los álcalis, ácidos y sales. Puede ser licuado aplicándole calor, disolviéndolo en derivados del petróleo de distinta volatilidad o bien, emulsificándolo en agua.

II.2 ESPECIFICACIONES PARA MATERIALES ASFALTICOS.

Para utilizar un material asfáltico en la elaboración de una mezcla bituminosa, se hace necesario que este posea un conjunto de características físicas y reológicas, cuyos valores estén dentro de los rangos normales para cada caso.

La American Standard Testing Material (ASTM) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), proporcionan dichos rangos de valores estándares, los cuales pueden ser utilizados para el control de calidad de este tipo de materiales.

Estos valores se presentan a continuación como TABLAS ANEXAS. En este trabajo se ha preferido incluir ámbas TABLAS (AASHTO y ASTM), dado qu en algunos casos la AASHTO, al pie de estas Tablas hace ciertos comentarios que la ASTMA no los hace o no los amplía.

TABLA ANEXA IV. a, b Especificación para asfaltos líquidos de Curado Rápido (RC). Fuente : AASHTO M 81- 92 , ASTM D 2028-76(1992).

	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Kinematic Viscosity at 60 C (140F) (See Note 1) centistokes	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Flash point (Tag, open-cup), degrees C (F)	—	—	27 (80)	—	27 (80)	—	27 (80)	—
Water, percent	—	0.2	—	0.2	—	0.2	—	0.2
Distillation test:								
Distillate, percentage by volume of total distillate to 360 C (680 F)								
to 190 C (374 F)	10	—	—	—	—	—	—	—
to 225 C (437 F)	50	—	35	—	15	—	—	—
to 260 C (500 F)	70	—	60	—	45	—	25	—
to 315 C (600 F)	85	—	80	—	75	—	70	—
Residue from distillation to 360 C (680 F) volume percentage of sample by difference	55	—	65	—	75	—	80	—
Tests on residue from distillation:								
Absolute viscosity at 60 C (140 F) (See Note 3) poises	600	2400	600	2400	600	2400	600	2400
Ductility, 5 cm./min. at 25 C (77 F) cm	100	—	100	—	100	—	100	—
Solubility percent	99.0	—	99.0	—	99.0	—	99.0	—
Spot test (See Note 2) with:								
Standard naphtha	Negative for all grades							
Naphtha-xylene solvent, -percent xylene	Negative for all grades							
Heptane-xylene solvent, -percent xylene	Negative for all grades							

NOTE 1—As an alternate, Saybolt-Furol viscosities may be specified as follows:
Grade RC-70—Furol viscosity at 50 C (122 F)—60 to 120 sec.
Grade RC-250—Furol viscosity at 60 C (140 F)—125 to 250 sec.
Grade RC-800—Furol viscosity at 82.2 C (180 F)—100 to 200 sec.
Grade RC-3000—Furol viscosity at 82.2 C (180 F)—300 to 600 sec.

NOTE 2—The use of the spot test is optional. When specified, the Engineer shall indicate whether the standard naphtha solvent, the naphtha-xylene solvent or the heptane-xylene solvent will be used in determining compliance with the requirement, and also, in the case of the xylene solvents, the percentage of xylene to be used.

NOTE 3—In lieu of viscosity of the residue, the specifying agency, at its option, can specify penetration at 100 g; 5s at 25 C (77 F) of 80-120 for Grades RC-70, RC-250, RC-800, and RC-3000. However, in no case will both be required.

NOTE—If the ductility at 77°F (25°C) is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 60°F (15.5°C) is more than 100.

Designation	RC-70		RC-250		RC-800		RC-3000	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kinematic viscosity at 140°F (60°C), cSt	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Flash point (Tag open-cup), °F (°C)	...	...	80+ (27+)	...	80+ (27+)	...	80+ (27+)	...
Distillation test:								
Distillate, volume percent of total distillate to 680°F (360°C):								
to 374°F (190°C)	10	...	...	...	...	...	...	...
to 437°F (225°C)	50	...	35	...	15	...	...	...
to 500°F (260°C)	70	...	60	...	45	...	25	...
to 600°F (316°C)	85	...	80	...	75	...	70	...
Residue from distillation to 680°F (360°C), percent volume by difference	55	...	65	...	75	...	80	...
Tests on residue from distillation:								
Viscosity at 140°F (60°C), P[A]	600	2400	600	2400	600	2400	600	2400
Ductility at 77°F (25°C), cm	100	...	100	...	100	...	100	...
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...
Water, %	...	0.2	...	0.2	...	0.2	...	0.2

[A] Instead of viscosity of the residue, the specifying agency, at its option, can specify penetration at 100 g: 5 s at 77°F (25°C) of 80 to 120 for Grades RC-70, RC-250, RC-800, and RC-3000. However, in no case will both be required.

TABLA ANEXA V.a,b. Especificación para asfaltos líquidos de Curado Medio(MC). Fuente: AASHTO M 82-75 y ASTM D 2027- 76(1992)

	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Kinematic Viscosity at 60 C (140 F) (See Note 1) centistokes	30	60	70	140	250	500	800	1,600	3,000	6,000
Flash point (Tag. open-cup), degrees C (F)	38 (100)	—	38 (100)	—	66 (150)	—	66 (150)	—	66 (150)	—
Water, percent	—	0.2	—	0.2	—	0.2	—	0.2	—	0.2
Distillation test:										
Distillate, percentage by volume of total distillate to 360 C (680 F)										
to 225 C (437 F)	—	25	0	20	0	10	—	—	—	—
to 260 C (500 F)	40	70	20	60	15	55	0	35	0	15
to 315 C (600 F)	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residue from distillation to 360 C (680 F) Volume percentage of sample by difference	50	—	55	—	67	—	75	—	80	—
Tests on residue from distillation:										
Absolute viscosity at 60 C (140 F) (See Note 4) poises	300	1,200	300	1,200	300	1,200	300	1,200	300	1,200
Ductility, 5 cm./min., cm (See Note 2)	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—
Solubility in Trichloroethylene, percent	99.0	—	99.0	—	99.0	—	99.0	—	99.0	—
Spot test (See Note 3) with:										
Standard naphtha										Negative for all grades
Naphtha-xylene solvent, –percent xylene										Negative for all grades
Heptane-xylene solvent, –percent xylene										Negative for all grades

NOTE 1—As an alternate, Saybolt-Furol viscosities may specified as follows:
Grade MC-70—Furol viscosity at 50 C (122 F)—60 to 120 sec.
Grade MC-30—Furol viscosity at 25 C (77 F)—75 to 150 sec.
Grade MC-250—Furol viscosity at 60 C (140 F)—125 to 250 sec.
Grade MC-800—Furol viscosity at 82.2 C (180 F)—100 to 200 sec.
Grade MC-3000—Furol viscosity at 82.2 C (180 F)—300 to 600 sec.

NOTE 2—If the ductility at 25 C (77 F) is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 15.5 C (60 F) is more than 100.

NOTE 3—The use of the spot test is optional. When specified, the Engineer shall indicate whether the standard naphtha solvent, the naphtha-xylene solvent, or the heptane-xylene solvent will be used in determining compliance with the requirement, and also, in the case of the xylene solvents, the percentage of xylene to be used.

NOTE 4—In lieu of viscosity of the residue, the specifying agency, at its option, can specify penetration at 100 g; 5s at 25 C (77 F) of 120 to 250 for Grades MC-30, MC-70, MC-250, MC-800, and MC-3000. However, in no case will both required.

NOTE—If the ductility at 77°F (25°C) is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 60°F (15.5°C) is more than 100.

Designation	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kinematic viscosity at 140°F (60°C), cSt	30	60	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Flash point (Tag open-cup), °F (°C)	100 (38)	...	100 (38)	...	150 (66)	...	150 (66)	...	150 (66)	...
Distillate test:										
Distillate, volume percent of total distillate to 680°F (360°C):										
to 437°F (225°C)	...	25	...	20	...	10	...	...	...	...
to 500°F (260°C)	40	70	20	60	15	55	...	35	...	15
to 600°F (316°C)	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residue from distillation to 680°F (360°C), percent volume by difference	50	...	55	...	67	...	75	...	80	...
Tests on residue from distillation:										
Viscosity at 140°F (60°C), P[A]	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200	300	1200
Ductility at 77°F (25°C), cm	100	...	100	...	100	...	100	...	100	...
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...
Water, %	...	0.2	...	0.2	...	0.2	...	0.2	...	0.2

[A] Instead of viscosity of the residue, the specifying agency, at its option, can specify penetration 100 g; 5 s at 77°F (25°C) of 120 to 250 for Grades MC-30, MC-70 MC-250, MC-800, and MC-3000. However, in no case will both be required.

TABLA ANEXA VI Especificación para Asfaltos Líquidos de Curado Lento. Fuente: ASTM D 2026 - 72(1993).

NOTE—If the ductility at 77°F (25°C) is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 60°F (15.5°C) is more than 100.

Designation	SC-70		SC-250		SC-800		SC-3000	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kinematic viscosity at 140°F (60°C), cSt	70	140	250	500	800	1600	3000	6000
Flash point (Cleveland open cup), °F (°C)	150 (66)	...	175 (79)	...	200 (93)	...	225 (107)	...
Distillation test:								
Total distillate to 680°F (360°C), volume %	10	30	4	20	2	12	...	5
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...
Kinematic viscosity on distillation residue at 140°F (60°C), St	4	70	8	100	20	160	40	350
Asphalt residue:								
Residue of 100 penetration, %	50	...	60	...	70	...	80	...
Ductility of 100 penetration residue at 77°F (25°C), cm	100	...	100	...	100	...	100	...
Water, %	...	0.5	...	0.5	...	0.5	...	0.5

NOTA : La AASHTO no especifica valores para estos tipos de asfaltos.

TABLA ANEXA VII Guía general de usos para Asfaltos Líquidos recomendados por ASTM D 2399- 83(1991)

Paving Construction Use[A]	Recommended Cutback Asphalt												
	Rapid-Curing (D 2028)				Medium-Curing (D 2027)					Slow-Curing (D 2026)			
	RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000	MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000	SC-70	SC-250	SC-800	SC-3000
Bitumen-aggregate mixtures:													
Cold-laid plant mix:													
Pavement base and surfaces:													
Open-graded aggregate	...	...	...	...	...	...	...	X	...	...	...	...	...
Dense-graded aggregate	...	X	...	...	...	...	X	X	X	...	X	X	X
Patching, immediate use	...	X	X	...	...	...	X	X	X	...	...	X	X
Patching, stockpile	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	X	X	...
Mixed-in-place (road mix):													
Pavement base and surfaces:													
Open-graded aggregate	...	X	X	X	...	...	...	X	X	...	X	X	...
Dense-graded aggregate	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	X	X	...
Sand	...	X	X	...	...	X	X	X	...	...	...	...	...
Sandy soil	X	X	X	...	...	...	X	X	...	...	...	...	...
Patching, immediate use	...	X	X	...	...	...	X	X	X	...	...	X	X
Patching, stockpile	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	X	X	...
Bitumen-aggregate applications:													
Surface treatments:													
Single surface treatment	...	X	X	X	...	...	...	X	X	...	...	...	...
Multiple surface treatment	...	X	X	X	...	...	...	...	X	...	...	...	...
Sand seal	...	X	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...	...
Penetration macadam:													
Large voids	...	...	X	X	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Small voids	...	X	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bitumen applications:													
Surface treatment:													
Prime coat, open surfaces	X	X	...	...	...	X	X	...	...	...	...	...	...
Prime coat, tight surfaces	X	...	...	...	X	X	...	...	...	...	...	...	...
Tack coat	X	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Dust binder	X	...	...	...	...	X	...	...	...	X	...	...	...
Mulch treatment	X	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

[A] For definitions of terms used in this table, refer to Section 3.

TABLA ANEXA VIII.a y b Especificaciones para Cementos Asfálticos, graduados por Penetración. AASHTO M 20 - 70(1993). ASTM D 946 - 82(1993)

	Penetration Grade									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetration at 25C (77F) 100 g., 5 sec	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash point, Cleveland Open Cup °F	450	—	450	—	450	—	425	—	350	—
Ductility at 25C (77F) 5 cm. per min., cm	100	—	100	—	100	—	100	—	—	—
Solubility in trichloroethylene percent	99	—	99	—	99	—	99	—	99	—
Thin-film oven test, 1/8 in. (3.2 mm), 163C (325F) 5 hour										
Loss on heating, percent	—	0.8	—	0.8	—	1.0	—	1.3	—	1.5
Penetration, of residue, percent of original	58	—	54	—	50	—	46	—	40	—
Ductility of residue at 25C (77F) 5 cm. per min., cm	—	—	50	—	75	—	100	—	100	—
Spot test (when and as specified (see Note 1) with):										
Standard naphtha solvent	Negative for all grades									
Naphtha-xylene solvent, percent xylene	Negative for all grades									
Heptane-xylene solvent, percent xylene	Negative for all grades									

NOTE—The use of the spot test is optional. When it is specified, the Engineer shall indicate whether the standard naphtha solvent, the naptha-, xylene solvent, or the heptane-xylene solvent will be used in determining compliance with the requirement, and also, in the case of the xylene solvents, the percentage of xylene to be used.

	Penetration Grade									
	40–50		60–70		85–100		120–150		200–300	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetration at 77°F (25°C) 100 g, 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash point, °F (Cleveland open cup)	450	...	450	...	450	...	425	...	350	...
Ductility at 77°F (25°C) 5 cm/min, cm	100	...	100	...	100	...	100	...	100[A]	...
Solubility in trichloroethylene, %	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...
Retained penetration after thin-film oven test, %	55+	...	52+	...	47+	...	42+	...	37+	...
Ductility at 77°F (25°C) 5 cm/min, cm after thin-film oven test test	...	...	50	...	75	...	100	...	100[A]	...

[A] If ductility at 77°F (25°C) is less than 100 cm, material will be accepted if ductility at 60°F (15.5°C) is 100 cm minimum at the pull rate of 5 cm/min.

TABLA ANEXA IX.a Especificaciones para Cementos Asfálticos graduados por Viscosidad. Fuente: AASHTO M 226 - 80(1993)

Requirements for Asphalt Cement Graded by Viscosity at 60 C (140 F) (Grading Based on Original Asphalt)

Test	Viscosity Grade					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosity, 60 C (140 F), poises	250 ± 50	500 ± 100	1,000 ± 200	2,000 ± 400	3,000 ± 600	4,000 ± 800
Viscosity, 135 C (275 F), Cs-minimum	125	175	250	300	350	400
Penetration, 25 C (77 F), 100 g, 5 sec-minimum	220	140	80	60	50	40
Flash Point, COC, C (F)-minimum	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubility in trichloroethylene, percent-minimum	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Tests on residue from thin-film oven test:						
Loss on heating percent-maximum (optional)[3]		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosity, 60 C (140 F), poises-maximum	1,000	2,000	4,000	8,000	12,000	16,000
Ductility, 25 C (77 F), 5 cm per minute, cm-minimum	100[1]	100	75	50	40	25
Spot test (when and as specified)[2] with:						
Standard naphtha solvent	Negative for all grades					
Naphtha-Xylene-solvent, % Xylene	Negative for all grades					
Heptane-Xylene-solvent, % Xylene	Negative for all grades					

[1] .. ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 15.6 C (60 F) is 100 minimum.
[2] The use of the spot test is optional. When it is specified, the Engineer shall indicate whether the standard naphtha solvent, the naphtha-xylene solvent, or the heptane xylene solvent will be used in determining compliance with the requirement, and also, in the case of xylene solvent the percentage of xylene to be used.
[3] The use of loss on heating requirement is optional.

Requirements for Asphalt Cement Graded by Viscosity at 60 C (140 F) (Grading based on original asphalt)

Test	Viscosity Grade				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosity, 60 C (140 F), poises	250 ± 50	500 ± 100	1,000 ± 200	2,000 ± 400	4,000 ± 800
Viscosity, 135 C (275 F), Cs-minimum	80	110	150	210	300
Penetration, 25 C (77 F), 100 g., 5 sec.-minimum	200	120	70	40	20
Flash Point, COC, C (F)-minimum	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)
Solubility in trichloroethylene, percent-minimum	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Tests on residue from thin-film oven test:					
Viscosity, 60 C (140 F), poises-maximum	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000
Ductility, 25 C (77 F), 5 cm per minute cm-minimum	100[1]	100	50	20	10
Spot test (when and as specified)[2] with:					
Standard naphtha solvent	Negative for all grades				
Naphtha-Xylene-solvent, percent Xylene	Negative for all grades				
Heptane-Xylene-solvent, percent Xylene	Negative for all grades				

[1] If ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 15.6 C (60 F) is 100 minimum.
[2] The use of the spot test is optional. When it is specified, the Engineer shall indicate whether the standard naphtha solvent, the naphtha-xylene solvent, or the heptane-xylene solvent will be used in determining compliance with the requirement, and also, in the case of xylene solvents, the percentage of xylene to be used.

Requirements for Asphalt Cement Graded by Viscosity at 60 C (140 F) (Grading Based on Residue From Rolling Thin Film Oven Test)

Tests on Residue from AASHTO Test Method T 240[1]	Viscosity Grade				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosity, 60 C (140 F), poises	1,000 ± 250	2,000 ± 500	4,000 ± 1,000	3,000 ± 2,000	16,000 ± 4,000
Viscosity, 135 C (275 F), Cs-minimum	140	200	275	400	550
Penetration, 25 C (77 F), 100 g, 5 sec-minimum	65	40	25	20	20
Percent of original Pen., 25 C (77 F)-minimum	—	40	45	50	52
Ductility, 25 C (77 F), 5 cm per min, cm minimum	100[2]	100[2]	75	75	75
Tests on original asphalt					
Flash Point, COC, C (F)-minimum	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubility in trichloroethylene, percent-minimum	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

[1] AASHTO T 179 (Thin-Film Oven Test) may be used, but AASHTO T 240 shall be the referee method.
[2] If ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 15.6 C (60 F) is 100 minimum.

TABLA ANEXA IX.b Especificaciones para Cementos Asfálticos graduados por Viscosidad. Fuente: ASTM D 3381 - 92.

D 3381

Requirements for Asphalt Cement, Viscosity Graded at 140°F (60°C)

NOTE—Grading based on original asphalt.

Test	Viscosity Grade				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosity, 140°F (60°C), P	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	4000 ± 800
Viscosity, 275°F (135°C), min, cSt	80	110	150	210	300
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s, min	200	120	70	40	20
Flash point, Cleveland open cup, min, °F (°C)	325 (163)	350 (177)	425 (219)	450 (232)	450 (232)
Solubility in trichloroethylene, min, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Tests on residue from thin-film oven test:					
Viscosity, 140°F (60°C), max, P	1250	2500	5000	10 000	20 000
Ductility, 77°F (25°C), 5 cm/min, min, cm	100[A]	100	50	20	10

[A] If ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 60°F (15.5°C) is 100 minimum at a pull rate of 5 cm/min.

TABLE 2 Requirements for Asphalt Cement Viscosity Graded at 140°F (60°C)

NOTE—Grading based on original asphalt.

Test	Viscosity Grade					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosity, 140°F (60°C), P	250 ± 50	500 ± 100	1000 ± 200	2000 ± 400	3000 ± 600	4000 ± 800
Viscosity, 275°F (135°C), min, cSt	125	175	250	300	350	400
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s, min	220	140	80	60	50	40
Flash point, Cleveland open cup, min, °F (°C)	325 (163)	350 (177)	425 (219)	450 (232)	450 (232)	450 (232)
Solubility in trichloroethylene, min, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Tests on residue from thin-film oven test:						
Viscosity, 140°F (60°C), max, P	1250	2500	5000	10 000	15 000	20 000
Ductility, 77°F (25°C), 5 cm/min, min, cm	100[A]	100	75	50	40	25

[A] If ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 60°F (15.5°C) is 100 minimum at a pull rate of 5 cm/min.

TABLE 3 Requirements for Asphalt Cement Viscosity Graded at 140°F (60°C)

NOTE—Grading based on residue from rolling thin-film oven test.

Tests on Residue from Rolling Thin-Film Oven Test:[A]	Viscosity Grade				
	AR-1000	AR-2000	AR-4000	AR-8000	AR-16000
Viscosity, 140°F (60°C), P	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000
Viscosity, 275°F (135°C), min, cSt	140	200	275	400	550
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s, min	65	40	25	20	20
% of original penetration, 77°F (25°C), min	...	40	45	50	52
Ductility, 77°F (25°C), 5 cm/min, min, cm	100[B]	100[B]	75	75	75
Tests on original asphalt:					
Flash point, Cleveland open cup, min, °F (°C)	400 (205)	425 (219)	440 (227)	450 (232)	460 (238)
Solubility in trichloroethylene, min, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

[A] Thin-film oven test may be used but the rolling thin-film oven test shall be the referee method.
[B] If ductility is less than 100, material will be accepted if ductility at 60°F (15.5°C) is 100 minimum at a pull rate of 5 cm/min.

TABLA ANEXA X.a Especificaciones para Emulsiones Asfálticas, clasificadas según el tipo de curado. Fuente: AASHTO M 140 - 88.

Requirements for Emulsified Asphalt

Type	Rapid-Setting						Medium-Setting					
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
Grade	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Tests on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	—	—	—	—	20	100	100	—	100	—
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	—	—	75	400	75	400	—	—	—	—	—	—
Storage stability test, 24-h, %	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	1
Demulsibility, 35 ml, 0.02 *N* $CaCl_2$, %	60	—	60	—	60	—	—	—	—	—	—	—
Coating ability and water resistance:	—		—		—		good		good		good	
Coating, dry aggregate												
Coating, after spraying	—		—		—		fair		fair		fair	
Coating, wet aggregate	—		—		—		fair		fair		fair	
Coating, after spraying	—		—		—		fair		fair		fair	
Cement mixing test, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sieve test, %	—	0.10	—	0.10	—	0.10	—	0.10	—	0.10	—	0.10
Residue by distillation, %	55	—	63	—	63	—	55	—	65	—	65	—
Oil distillate by volume of emulsion, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tests on residue from distillation test:												
Penetration, 77°F(25°C), 100g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductility, 77°F, (25°C), 5cm/min, cm	40	—	40	—	40	—	40	—	40	—	40	—
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—
Float test, 140°F(60°C), s	—	—	—	—	1,200	—	—	—	—	—	—	—

	Medium-Setting						Slow-Setting					
	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Tests on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	100	—	100	—	50	—	20	100	20	100
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Storage stability test, 24-h, %	—	1[d]	—	1[d]	—	1[d]	—	1[d]	—	1[d]	—	1[d]
Demulsibility,[a] *35 ml, 0.02 N* $CaCl_2$, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Coating ability and water resistance:												
Coating, dry aggregate	good		good		good		good		—		—	
Coating, after spraying	fair		fair		fair		fair		—		—	
Coating, wet aggregate	fair		fair		fair		fair		—		—	
Coating, after spraying	fair		fair		fair		fair		—		—	
Cement mixing test, %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0	—	2.0
Sieve test, %[b]	—	0.10[d]	—	0.10[d]	—	0.10[d]	—	0.10[d]	—	0.10[d]	—	0.10[d]
Residue by distillation, %	55	—	65	—	65	—	65	—	57	—	57	—
Tests on residue from distillation test:												
Oil distillates by volume of emulsion, %							1	7				
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200	—	100	200	40	90
Ductility, 77°F, (25°C), 5 cm/min, cm	40	—	40	—	40	—	40	—	40	—	40	—
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—	97.5	—
Float test, 140°F (60°C), s	1,200	—	1,200	—	1,200	—	1,200	—	—	—	—	—

[a] The demulsibility test shall be made within 30 days from date of shipment.
[b] A percentage of 0.30 is acceptable for samples taken at point of use.
[c] Refer to R5 for typical applications.
[d] This test requirement on representative samples may be waived, if successful application of the material has been achieved in the field.

TABLA ANEXA X.b Especificaciones para Emulsiones Asfálticas en general, clasificadas según el tipo de curado.Fuente: ASTM D 977 - 91.

D 977

Requirements for Emulsified Asphalt

	Rapid-Setting						Medium-Setting					
Type	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h	
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Tests on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	...	...	...	...	20	100	100	...	100	...
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...
Storage stability test, 24-h, %[A]	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1
Demulsibility, 35 ml, 0.02 *N* $CaCl_2$, %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...
Coating ability and water resistance:												
Coating, dry aggregate	...		...		...		good		good		good	
Coating, after spraying	...		...		...		fair		fair		fair	
Coating, wet aggregate	...		...		...		fair		fair		fair	
Coating, after spraying	...		...		...		fair		fair		fair	
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Sieve test, %[A]	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10
Residue by distillation, %	55	...	63	...	63	...	55	...	65	...	65	...
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Tests on residue from distillation test:												
Penetration, 77°F (25°C), 100g, 5 s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90
Ductility, 77°F, (25°C), 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...
Float test, 140°F (60°C), s	...	...	...	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

	Medium-Setting						Slow-Setting					
Type	HFMS-1		HFMS-2		HFMS-2h		HFMS-2s		SS-1		SS-1h	
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Tests on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s	20	100	100	...	100	...	50	...	20	100	20	100
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Storage stability test, 24-h, %[A]	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1
Demulsibility, 35 ml, 0.02 *N* $CaCl_2$, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	..	...
Coating ability and water resistance:												
Coating, dry aggregate	good		good		good		good		...		...	
Coating, after spraying	fair		fair		fair		fair		...		...	
Coating, wet aggregate	fair		fair		fair		fair		...		...	
Coating, after spraying	fair		fair		fair		fair		...		...	
Cement mixing test, %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2.0	...	2.0
Sieve test, %[A]	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10	...	0.10
Residue by distillation, %	55	...	65	...	65	...	65	...	57	...	57	...
Oil distillate by volume of emulsion, %	...	...	...	...	...	...	1	7	...	...	...	...
Tests on residue from distillation test:												
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s	100	200	100	200	40	90	200	...	100	200	40	90
Ductility, 77°F, (25°C), 5 cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
Solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...
Float test, 140°F (60°C), s	1200	...	1200	...	1200	...	1200	...	...	...	...	...

[A] This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.

TABLA ANEXA XI.a y b Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas. Fuente: AASHTO M 208 - 87 y ASTM D 2397 - 91.

Requirements and Typical Applications for Cationic Emulsified Asphalt[a]

Type	Rapid-Setting				Medium-Setting				Slow-Setting			
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
Grade	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Test on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s									20	100	20	100
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	20	100	100	400	50	450	50	450				
Storage stability test, 24-h, %		1[b]		1[b]		1[b]		1[b]		1[b]		1[b]
Demulsibility, 35 ml 0.8%												
Sodium dioctyl sulfosucinate, %	40		40									
Classification test	passes		passes									
Coating, ability and water resistance:												
Coating, dry aggregate					good		good					
Coating, after spraying					fair		fair					
Coating, wet aggregate					fair		fair					
Coating, after spraying					fair		fair					
Particle charge test	positive		positive		positive		positive		positive[c]		positive[c]	
Sieve test, %		0.10[b]		0.10[b]		0.10[b]		0.10[b]		0.10[b]		0.10[b]
Cement mixing test, %										2.0		2.0
Distillation:												
Oil distillate, by volume of emulsion, %		3		3		12		12				
Residue, %	60		65		65		65		57		57	
Tests on residue from distillation test:												
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductility, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
Solubility in trichlorethylene, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

[a] Refer to R5 for typical applications.
[b] This test requirement on representative samples may be waived, if successful application of the material has been achieved in the field.
[c] If the particle charge test result is inconclusive, material having a maximum pH value of 6.7 will be acceptable, if previously agreed to by the buyer and seller.

Requirements for Cationic Emulsified Asphalt

Type	Rapid-Setting				Medium-Setting				Slow-Setting			
Grade	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Test on emulsions:												
Viscosity, Saybolt Furol at 77°F (25°C), s									20	100	20	100
Viscosity, Saybolt Furol at 122°F (50°C), s	20	100	100	400	50	450	50	450				
Storage stability test, 24-h, %[A]		1		1		1		1		1		1
Classification test	passes		passes									
Coating ability and water resistance:												
Coating, dry aggregate					good		good					
Coating, after spraying					fair		fair					
Coating, wet aggregate					fair		fair					
Coating, after spraying					fair		fair					
Particle charge test	positive		positive		positive		positive		positive		positive	
Sieve test, %[A]		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10		0.10
Cement mixing test, %										2.0		2.0
Distillation:												
Oil distillate, by volume of emulsion, %		3		3		12		12				
Residue, %	60		65		65		65		57		57	
Tests on residue from distillation test:												
Penetration, 77°F (25°C), 100 g, 5 s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90
Ductility, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40	
Solubility in trichloroethylene, %	97.5		97.5		97.5		97.5		97.5		97.5	

[A] This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field.

TABLA ANEXA XII.a Guía general para el uso de los distintos tipos de Emulsiones Asfálticas.Fuente: AASHTO R 5-89.

General Use of Emulsified Asphalt

NOTE—Only those grades of emulsified asphalt in general use have been indicated herein. It is possible that under certain variations of aggregates, or climatic conditions, or both, additional selections might be appropriate. Where the use of emulsified asphalt for applications other

Type of Construction[A]	Specification M-140										Specification M-208 (Cationic)					
	RS-1	RS-2	HF RS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2b	MS-2h HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
AT Bituminous-aggregate mixtures:															
For pavement bases and surfaces:	–	–	–	–	–	X	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Plant mix (hot)															
Plant mix (cold)															
Open-graded aggregate	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–	–	X	X	–	–
Dense-graded aggregate	–	–	–	–	–	–	X	X	X	–	–	–	–	X	X
Sand	–	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–	X	X
Mixed-in-place:															
Open-graded aggregate	–	–	–	X	X	X	–	–	–	–	–	X	X	–	–
Dense-graded aggregate	–	–	–	–	–	–	X	X	X	–	–	–	–	X	X
Sand	–	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–	X	X
Sandy soil	–	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–	X	X
Slurry seal	–	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–	X	X
Bituminous-aggregate applications:															
Treatments and seals:															
Single surface treatment (chip seal)	X	X	X	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–
Multiple surface treatment	X	X	X	–	–	–	X	–	–	X	X	–	–	–	–
Graded aggregate seal	X	X	X	–	–	–	–	–	–	X	X	–	–	–	–
Sand seal	X	X	X	X	–	–	X	–	–	X	X	–	–	–	–
Penetration macadam:															
Large voids:	–	X	X	–	–	–	–	–	–	–	X	–	–	–	–
Small voids:	X	–	–	–	–	–	–	–	–	X	–	–	–	–	–
Bituminous applications:															
Fog seal	–	–	–	X[B]	–	–	–	X[C]	X[C]	–	–	–	–	X[C]	X[C]
Prime coat-penetrable surface	–	–	–	–	–	–	–	X[C]	X[C]	–	–	–	–	X[C]	X[C]
Tack coat	–	–	–	X[B]	–	–	–	X[C]	X[C]	–	–	–	–	X[C]	X[C]
Dust binder	–	–	–	–	–	–	–	X[C]	X[C]	–	–	–	–	X[C]	X[C]
Mulch treatment	–	–	–	–	–	–	–	X[C]	X[C]	–	–	–	–	X[C]	X[C]
Crack filler	–	–	–	–	X	X	X	X	X	–	–	X	X	X	X
Maintenance mix:															
Immediate use	–	–	–	X	X	X	X	–	–	–	–	X	X	–	–
Stock pile	–	–	–	–	–	–	X	–	–	–	–	–	–	–	–

[A] For definitions of terms used in this table, refer to Section 2.
[B] Diluted with water by the manufacturer.
[C] Diluted with water.

TABLA ANEXA XII.b Guía general para el uso de los distintos tipos de Emulsiones Asfálticas. Fuente: ASTM D 3628-93a

D 3628

TABLE 1 General Uses of Emulsified Asphalt

NOTE—Only those grades of emulsified asphalt in general use have been indicated herein. It is possible that under certain variations of aggregates, or climatic conditions, both, additional selections might be appropriate. Where the use of emulsified asphalt for applications other than those listed in the table are contemplated, the emulsion supplier should be consulted.

Type of Construction[A]	Specification D 977									Specification D 2397 (Cationic)					
	RS-1[E]	RS-2	HFRS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2s	SS-1	SS-1h	CRS-1[E]	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Bituminous-aggregate mixtures:															
For pavement bases and surfaces:															
Plant mix (hot) (D 3515)	...	...	...	...	...	X[B]	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Plant mix (cold)															
Open-graded aggregate	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...	...	X	X	...	...
Dense-graded aggregate	...	...	...	...	...	...	X	X	X	...	...	...	...	X	X
Sand	...	...	...	...	...	...	X	X	X	...	...	...	...	X	X
Mixed-in-place:															
Open-graded aggregate	...	...	...	X	X	X	...	...	...	...	...	X	X	...	...
Dense-graded aggregate	...	...	...	...	...	...	X	X	X	...	...	...	...	X	X
Sand	...	...	...	...	...	...	X	X	X	...	...	...	...	X	X
Sandy soil	...	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...	X	X
Slurry seal	...	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...	X	X
Bituminous-aggregate applications:															
Treatments and seals:															
Single surface treatment (Chip Seal)	X	X	X	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...
Multiple surface treatment	X	X	X	...	...	...	...	...	...	X	X	...	...	...	...
Graded Aggregate Seal	...	...	...	...	...	...	X	...	...	...	...	...	...	...	...
Sand seal	X	X	X	X	...	...	X	...	...	X	X	...	...	...	...
Penetration macadam:															
Large voids	...	X	X	...	...	...	...	...	...	...	X	...	...	...	...
Small voids	X	...	...	...	...	...	...	...	...	X	...	...	...	...	...
Bituminous applications:															
Fog seal	...	...	...	X[C]	...	...	...	X[D]	X[D]	...	...	...	...	X[D]	X[D]
Prime coat-penetrable surface	...	...	...	...	...	...	...	X[D]	X[D]	...	...	...	...	X[D]	X[D]
Tack coat	...	...	...	X[C]	...	...	...	X[D]	X[D]	...	...	...	...	X[D]	X[D]
Dust binder	...	...	...	...	...	...	...	X[D]	X[D]	...	...	...	...	X[D]	X[D]
Mulch treatment	...	...	...	...	...	...	...	X[D]	X[D]	...	...	...	...	X[D]	X[D]
Crack filler	...	...	...	...	X	X	X	X	X	...	...	X	X	X	X
Maintenance mix:															
Immediate use	...	...	...	X	X	X	X	...	...	...	...	X	X	...	...
Stockpile	...	...	...	...	...	...	X	...	...	...	...	...	...	...	...

[A] For definitions of terms used in this table, refer to Section 3.

[B] Specification D 3515 permits the use of other emulsion grades by note. "Grades of emulsion other than MS-2h may be used where experience has shown that they give satisfactory performance."

[C] Diluted with water by the manufacturer.

[D] Diluted with water.

[E] RS-1 and CRS-1 may be used as a tack coat in special cases where night construction or high humidity exists.

ENSAYO N°18 PENETRACION DE MATERIALES BITUMINOSOS.

REFERENCIAS : ASTM D 5 - 86
AASHTO T 49 - 93

1. ALCANCES.

Este ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos sólidos o semi-sólidos.

A través del ensayo aquí descrito se pueden ensayar Cementos Asfálticos con penetraciones inferiores a 350 dmm. Aquellos materiales bituminosos cuyas penetraciones estén entre 350 y 500 dmm, podrán ser ensayados usando un aparato de penetración especial e introduciendo modificaciones al procedimiento de ensayo, según se describe en ASTM D 5, SECCION 9.3 .

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 Estándares ASTM

C 670-88 Práctica para la preparación de documentos de ensayo, para materiales de construcción, bajo condiciones de presición.

3. RESUMEN DEL METODO.

Una muestra de cemento asfáltico contenida en un recipiente de dimensiones estandarizadas, se somete a penetración con una aguja de dimensiones especificadas durante un tiempo de cinco (5) segundos, la cual es cargada con un peso de Cien (100) gramos. La temperatura de ensayo es de 25°C.

4. SIGNIFICADO Y USO

El ensayo de penetración es usado para medir la consistencia de Cementos Asfálticos. Valores altos de penetración indicaran consistencia suaves.

El resultado del ensayo, se usa con frecuencia para verificar, si el asfalto cumple con los requerimientos de calidad, que se especifican para los materiales bituminosos a usar en un proyecto de pavimentación.

5. DEFINICIONES.

5.1 PENETRACION

Es una medida de la consistencia de un Cemento Asfáltico, expresada como la distancia en "décimas de milímetro" (dmm), que una aguja estandarizada, penetra verticalmente a una muestra de material bajo condiciones conocidas de peso, tiempo y temperatura.

5.2 CONSISTENCIA

Es el estado físico que presenta un asfalto en un momento dado, con relación a los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia.

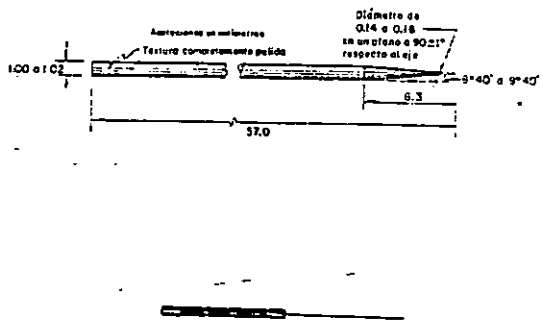
6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS.

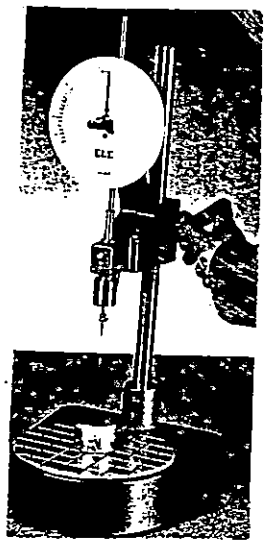
6.1 Aparato de penetración.

Es un aparato en el cual puede instalarse la aguja de penetración a un carruaje movible verticalmente. Posee un dial graduado en 400 divisiones de 0.1 mm cada una y una base con tornillos nivelantes.

6.2 Aguja de penetración.

Debe tener un peso de 2.5 ± 0.05 g. y las dimensiones que se indican en la siguiente FIG 18.1





(a) (b)

FIG 18.1 a)Aguja de penetración. b) Penetrómetro de Cementos Asfálticos. Cortesía del Sector de Comunicación y Transportes, México D.F.

6.3 Recipientes para muestras.
Para penetraciones abajo de 200 dmm :

Diametro, mm	55
Profundidad interna, mm	35

Para penetraciones entre 200 y 350 dmm :

Diámetro, mm	70
Profundidad interna, mm	45

6.4 Baño María.
De temperatura regulable y capaz de poderse obtener en el, una temperatura de 25°C.

6.5 Cronómetro mecánico o electrónico.

6.6 Termómetro.
Con sensibilidad de 0.1°C y con capacidad para 100°C.

6.7 Misceláneo.
Mechero Bunsen, Hornilla, Beaker de 250 ml, gas propano, fósforos, papel higiénico o Wype, guantes de asbesto.

7. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Antes de calentar la muestra de Cemento Asfáltico se setea el baño María a 25°C. La muestra se calienta hasta una temperatura no mayor de 110 ± 5°C. Seguidamente se deposita asfalto en dos (2) recipientes, hasta 1.0 cm de su borde superior , en los cuales se deja enfriar hasta temperatura ambiente, para poder luego introducirlas al baño María por un tiempo de 1 hora, de tal forma de que éstas logren homogenizar su temperatura a la del baño María (25°C), luego del cual las muestras estarán listas para ser penetradas.

8. CONDICIONES DE ENSAYO.

Cuando las condiciones de ensayo no son especificadas, la temperatura, carga y tiempo para el ensayo deberán ser 25°C, 100 g. y 5 s., respectivamente. Otras condiciones pueden ser usadas para ensayos especiales, éstas son :

Temperatura °C (°F)	Carga, g	Tiempo, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
46.1 (115)	50	5

En estos casos, las condiciones específicas de ensayo deberán ser reportadas.

9. PROCEDIMIENTO.

9.1 Efectuar las siguientes revisiones :

a. El Penetrómetro deber tener colocada una carga movible de 100 ± 0.1 g. (Esto lo completan la aguja, el bástago de carga y una pesa de 50 g.)

b. El agua del baño María, juntamente con las muestras de ensayo deben tener una temperatura de 25°C.

c. Los recipientes deben contener muestra de asfalto hasta ± 1.0 cm bajo su borde superior. Esto permitirá mantener agua sobre la muestra durante el ensayo.

d. La aguja de penetración debe estar completamente limpia, si no lo está, límpiela con Tolueno u otro solvente disponible, secándola completamente luego de haberla limpiado.

9.2 Colocar el recipiente con la muestra sobre la base del penetrómetro. Seguidamente bajar el carruaje hasta que la aguja esté coincidiendo exactamente con la superficie de la muestra contenida en el recipiente. Cerrar la perilla de fijación del carruaje y colocar la aguja indicadora del dial en la posición inicial 40 dmm.

9.3 Penetrar la muestra por un tiempo de Cinco (5) segundos. Debe tenerse cuidado de iniciar la penetración simultáneamente con la puesta en marcha o con una referencia fija del cronómetro.

9.4 Realizado lo anterior retirar la aguja sosteniendo la muestra con una mano y con la otra suba el carruaje de carga del penetrómetro. Realizar una nueva penetración sobre la misma muestra. Esta deberá separarse ± 1.0 de la anterior y del borde del recipiente que la contiene. Repetir este proceso cuatro (4) veces.

NOTA 1: Si las penetraciones son mayores que 200 dmm, usar por lo menos tres (3) agujas de penetración dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones hayan sido completadas.

NOTA 2: Cuando la temperatura de ensayo difiere de 25°C, la prueba deberá desarrollarse sin remover la muestra del baño María.

10. CALCULOS.

10.1 Calcular el promedio de las penetraciones encontradas.

10.2 Calcular la diferencia entre la máxima y mínima penetración de ensayo, esta diferencia debe cumplir los requerimiento indicados en la TABLA 18.1.

TABLA 18.1 Dispersiones máximas permisibles entre la máxima y mínima penetración medida. La prueba se repetirá si estas condiciones no se cumplen. ASTM D 5 - 86.

Penetración, dmm	Diferencia permisible entre la máxima y mínima penetración medida ,dmm.
0 - 49	2
50 - 149	4
150 - 249	6
250 ó más	8

11. COMENTARIOS

11.1 Sobre el proceso de ensayo

a. Durante el desarrollo debe tenerse cuidarse que :

a.1 Se cumplan los requisitos de la prueba en cuanto a temperatura y tiempo de penetración.

a.2 No exista aire atrapado en la muestra de prueba.

a.3 Se cumplan las condiciones de limpieza de la aguja de penetración.

a.4 La aguja de penetración este coincidiendo exactamente con la muestra en el momento de iniciar el ensayo.

a.5 La aguja no toque el fondo del recipiente antes del tiempo de ensayo (5 s).

a.6 La aguja indicadora del dial sea colocada en la posición inicial de penetración (error de paraláje).

b. Si la diferencia entre la máxima y mínima penetración excede a los limites permisibles de la TABLA 18.1, se repite el ensayo, utilizando la otra muestra. Si esta diferencia vuelve a ser excesiva, se repite el ensayo completamente.

10.2 De la utilidad de la Penetración de Cementos Asfálticos

a. Cuando se requiere verificar únicamente la calidad del material obtenido de la refinería, el ensayo se realiza sobre una muestra representativa del volumen adquirido, mientras que cuando se necesita verificar su calidad dado el manejo que el cemento asfáltico (AC) tiene en la planta de producción de mezcla asfáltica, el ensayo debe realizarse sobre el residuo del ensayo de PELICULA DELGADA (ASTM D 2872-88, AASHTO T 179-93).

b. Al observar las condiciones de temperatura bajo las cuales se realiza el ensayo (25°C) se infiere que en nuestro medio, esta sería la temperatura mínima promedio bajo la cual trabajaría el asfalto. Así la consistencia medida bajo esta temperatura representa el máximo valor promedio del asfalto, es decir la máxima consistencia promedio que logra tener el asfalto bajo condiciones ambientales promedios.

c. La medición de esta consistencia, es únicamente un valor indicativo de la consistencia que tendrá el asfalto, dentro de las mezclas asfálticas de las cuales formará parte.

d. Durante el desarrollo de un proyecto de carreteras, este ensayo debe considerarse como de rutina, ya que el manejo a que se ve expuesto el Cemento Asfáltico (AC), durante la fabricación de la mezcla asfáltica puede alterar significativamente las propiedades reológicas del mismo.

e. Normalmente las penetraciones se especifican en rangos de valores, ya sea que estos materiales asfálticos se clasifiquen por penetración o por viscosidad (actualmente en los proyectos de carreteras se usa la clasificación por viscosidad). Cuando un cemento asfáltico graduado por viscosidad se identifica como AC - 20 indica que su VISCOSIDAD ABSOLUTA será de 20 x 10^2 POISES (2000 POISES) y que su penetración estará en el rango 40 a 60 dmm, asi mismo un AC - 2.5 tendrá una VISCOSIDAD ABSOLUTA de 2.5 x 10^2 POISES (250 POISES) y una penetración en el rango de 200 a 220 dmm.

ENSAYO N°19 : ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS.

REFERENCIAS : ASTM D 88 - 81
AASHTO T 72 - 90

1. ALCANCES.

Este ensayo cubre el procedimiento para la determinación de la Viscosidad Saybolt Furol de Asfaltos Líquidos (betúmenes) a 140°F(60°C) y Cementos Asfálticos a 275°F (135°C).

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 Estándares ASTM.

D 341-87	Carta de Viscosidad - Temperatura de productos derivados del petróleo.
D 445-87	Viscosidad Cinemática de líquidos transparentes y opacos.
D 446-87	Especificaciones e instrucciones de operación para el uso del Viscosímetro Cinemático - Capilar.
D 2161-88	Método de conversión de Viscosidad Cinemática a Viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol.
D 2493-85	Carta de Viscosidad - Temperatura para Asfaltos.
D 1559-89	Resistencia al Flujo Plástico de Mezclas Bituminosas en caliente, usando el Método Marshall.

3. RESUMEN DEL METODO.

Una muestra de asfalto a temperatura de ensayo, es colocada dentro de un tubo de bronce que posee un orificio de flujo, de dimensiones estandarizadas. La temperatura de la muestra es controlada cuidadosamente dentro del tubo, utilizando un baño María incorporado al Viscosímetro.

La Viscosidad Saybolt Furol es medida por el tiempo que un volumen de líquido (asfalto), utiliza para fluir por gravedad dentro de un Tubo de bronce con orificio estándar, bajo una carga hidrostática reproducida muy exacta y a una temperatura cuidadosamente controlada.

La Viscosidad Saybolt Furol es expresada como el tiempo que tardan en fluir libremente por gravedad, 60 cm^3 desde una altura estandarizada.

4. SIGNIFICADO Y USO.

La Viscosidad Saybolt Furol es una caracterización del comportamiento, de líquidos transparentes y opacos, al flujo.

Este ensayo se utiliza para determinar la Consistencia de Asfaltos Líquidos y Cementos Asfálticos.

El valor de la viscosidad Saylbolt Furol de un asfalto puede utilizarse para los siguientes propósitos:

4.1 Identificación de un material asfáltico.
4.2 Control de campo de las temperaturas de mezclado y compactación de una mezcla bituminosa.
4.3 Determinar la viscosidad Cinemática de un material asfáltico.

5. DEFINICIONES.

5.1 COEFICIENTE DE VISCOSIDAD O VISCOSIDAD.

Es la relación entre el Esfuerzo Cortante aplicado y un valor fijo de Esfuerzo Cortante. Este Coeficiente es una medida de la resistencia de un líquido al flujo. Comunmente es llamado únicamente con el nombre de Viscosidad del Líquido. En el Sistema cgs la unidad de medida es g/cm.s (dina.s/cm^2) y es llamado Poise (P). En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el Pascal (Pa) (1 N.s/m^2) y equivale a 10 P.

5.2 VISCOSIDAD SAYBOLT - FUROL

Es el tiempo que requieren 60 ml de material asfáltico para fluir libremente, a través de un orificio de dimensiones especificadas . (Ver FIG.19.1.d)

Esta es una medida de la resistencia al flujo gravitacional de un material asfáltico. Además es un indicador de la consistencia de los mismos

5.3 VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

Es la relación entre la Viscosidad y la Densidad de un líquido.

Esta es una medida de la resistencia al flujo gravitacional de un material asfáltico.

La unidad de medida de la Viscosidad Cinemática en el Sistema Internacional es m^2/s, para usos prácticos, el submultiplo mm^2/s es más conveniente. En el Sistema cgs la unidad de medida es el cm^2/s, el cual es llamado "Stoke" (símbolo : St).

En pavimentación el Centistokes (1 cSt = 10^{-2} St) es la unidad de medida más utilizada.

5.4 CONSISTENCIA

Es el estado físico que presenta un asfalto en un momento dado, con relación a los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS.

6.1 Viscosímetro Saybolt Furol de dos tubos como mínimo, según ASTM D 88. (Ver FIG 19.1.a)

6.2 Frascos para viscosidad Saybolt Furol(2), con marca indicadora de 60 ml. (Ver FIG. 19.1.b)

6.3 Termómetros (2)
Con capacidad de 30° a 760°F ó de -2° a 400°C.

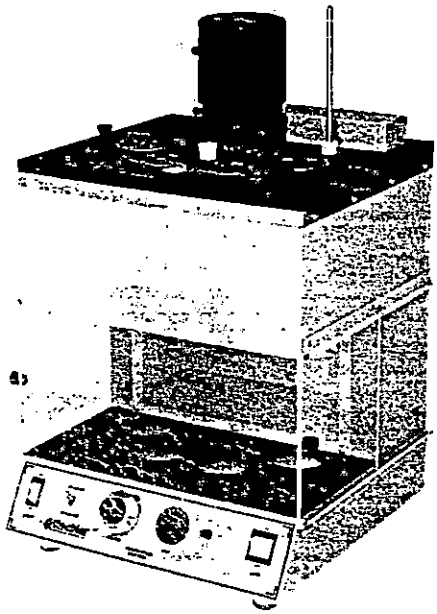
6.4 Cronómetro.

6.5 Misceláneo.
(2) Beaker Graduado de 500 ml , tipo Pyrex.
(1) Espátula con hoja de 6" de largo.
(3) Probetas graduadas tipo Pyrex, de 100 ml de capacidad.
(1) Mechero Bunsen.
(1) Hornilla.
Fósforos y Gas propano

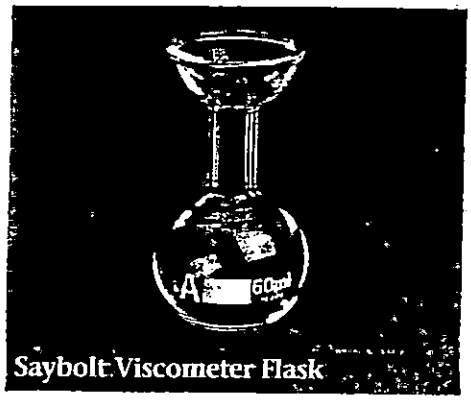
7. PREPARACION DE LA MUESTRA.

7.1 Obtener una muestra representativa del material bituminoso traído del campo. Luego calentarla utilizando el mechero Bunsen hasta la temperatura de ensayo (Asfaltos Líquidos: 140°F = 60°C, Cementos Asfálticos : 275°F = 135°C).

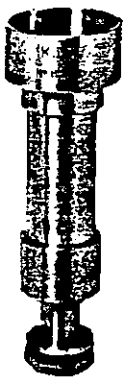
Siempre es preferible calentar la muestra 8 ó 10° más de la temperatura de ensayo, ya que al manipularla, ésta tiende a perder temperatura muy rápidamente.



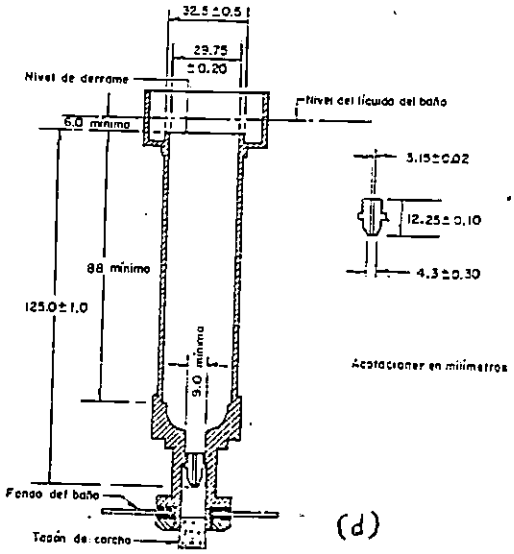
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. 19.1 (a) Viscosímetro (b) Frasco (c) Tubo (d) Dimensiones del equipo de Viscosidad Saybolt Furol. Fuente : Sector de Comunicación y Transporte, México D.F.

8. PROCEDIMIENTO.

8.1 Calentar el agua o aceite del Baño María a 160°F, si es asfalto Líquido el material a ensayar. Si es Cemento Asfáltico, el agua del baño debe se llevada hasta su punto de ebullición.

8.2 Depositar la muestra de asfalto calentada, en los tubos de bronce del viscosímetro. Asegurarse ántes, que el orificio de flujo esté correctamente tapado.

8.3 Introducir un termómetro dentro de la muestra, con el fin de controlar la temperatura de ensayo de la muestra. Se puede utilizar una pinza con soporte universal para mantener el termómetro dentro de la misma. A la vez coloque los frascos de viscosidad bajo el viscosímetro, en el punto destinado para captar el flujo de asfalto.

8.4 Permitir que la muestra alcance la temperatura de ensayo e inmediatamente destapar ambos orificios de los tubos para dejar fluir por gravedad las muestras de asfalto. Simultáneamente encender el cronómetro y medir el tiempo en que fluyen 60 ml de material asfáltico, para cada muestra(Ver FIG.19.2).

8.5 Registrar los resultados individuales de ambos frascos. Logrado esto, cerrar nuevamente los orificios de flujo y se procede a limpiar el equipo.
Registrar ambos tiempos hasta las décimas de segundo.

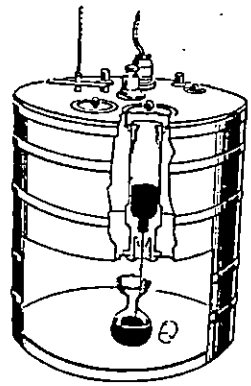


FIG. 19.2 Determinación de la Viscosidad Saybolt-Furol de un material asfáltico. Fuente : Instituto Norteamericano del Asfalto, MS-4, 1993.

9. CALCULOS.

9.1 Expresar la Viscosidad Saybolt Furol con el número entero más próximo al promedio de las lecturas obtenidas durante el ensayo. Sus unidades serán "segundos" (s)

9.2 Expresar la Viscosidad Cinemática en "Centistokes" (cSt), para lo cual se utiliza la FIG.19.3.

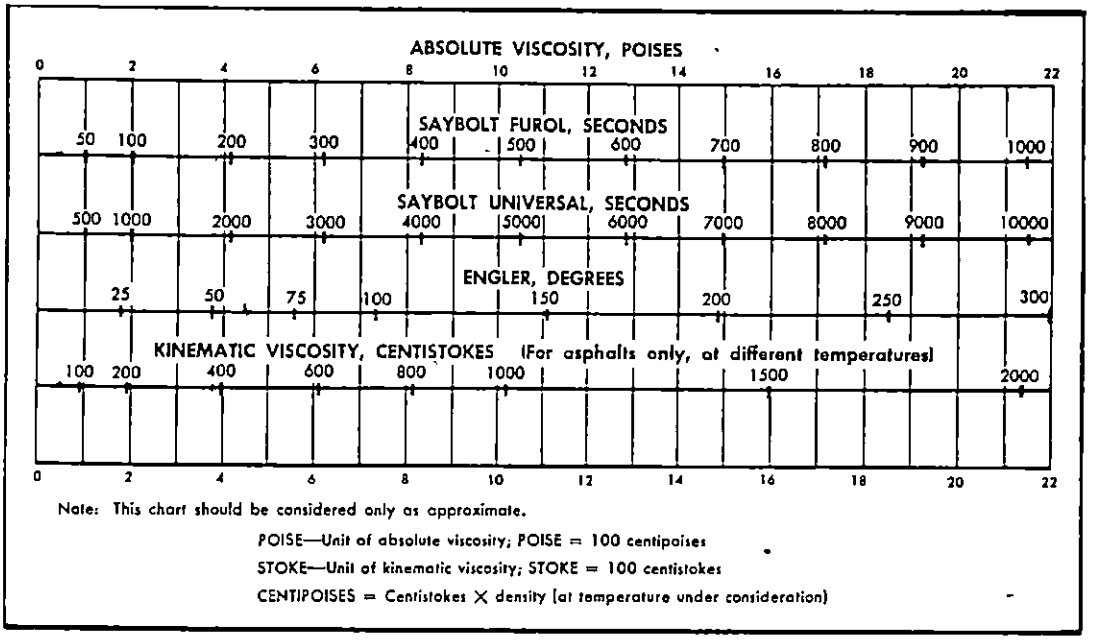


FIG. 19.3 Conversión de Viscosidades para varios métodos de medición. Fuente : Instituto Norteamericano del Asfalto, MS-4, 1978

10. INFORME.

El informe debe contener lo siguiente :

10.1 Valores de las Viscosidades Saybolt Furol y Cinemática con sus respectivas unidades.

10.2 Si el ensayo se realizó a un Cemento Asfáltico, con el fin de elaborar su Carta de Viscosidad - Temperatura, deberá elaborarse dicha curva, graficando en el eje horizontal las temperaturas y en el eje vertical las viscosidades (tres valores de viscosidad Cinemática 120, 135 y 160°C ó en su equivalencias en grados Farenheit.

10.3 Identificación de la muestra (fuente de suministro o proyecto donde se está o será utilizado el asfalto ensayado).

11. COMENTARIOS

11.1 Del proceso de ensayo

a. La temperatura de ensayo no debe variar en ± 0.5° Centígrados o Fahrenheit.

b. Cuando se ensaya un Cemento Asfáltico, durante la preparación de la muestra, éste no debe calentarse a más de 150°C(302°F).

c. Asegurarse que el frasco receptor, esté verticalmente alineado con el orificio de flujo.

d. La muestra de asfalto que fluirá, debe estar libre de grumos, para lo cual se hace necesario que durante la preparación, ésta se agita adecuadamente o tamizarla por la malla N°20 para colocarla dentro del tubo del viscosímetro.

e. La puesta en marcha del cronómetro debe coincidir con el instante en que se destapa el orificio de tubo.

f. En la FIG. 19.3 se indican las distintas equivalencias entre la Viscosidad Saybolt Furol y otros tipos de Viscosidades como la Cinemática y la Universal.

g. La Viscosidad Saybolt Furol es aproximadamente un décimo (1/10) de la Viscosidad Saybolt Universal y es recomendada para la caracterización de productos de petróleo tales como aceites combustibles y otros materiales residuales cuyas Viscosidades Saybolt Universal es mayor de 1000 s.

h. Los métodos AASHTO T 201 y ASTM D 455 son para determinar la Viscosidad Cinemática. Estos requieren una muestra más pequeña y menos tiempo, además de proveer de una mejor precisión al resultado obtenido. La viscosidad Cinemática puede ser convertida a Viscosidad Saybolt Furol mediante el uso de las tablas dadas en ASTM D 2161. Está recomendado que los índices de Viscosidad sean calculados tanto para rangos de Viscosidades Cinemáticas, como para Viscosidades Saybolt.

11.2 De la utilidad de la viscosidad

a. En los estándares ASTM y AASHTO existen especificaciones de los Cementos Asfálticos, graduados por penetración y por viscosidad (Ver TABLAS ANEXAS VIII.a y b, TABLAS ANEXAS IX.a y b). En la actualidad los cementos asfálticos se especifican en base a su graduación por viscosidad.

b. En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento Asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica se ve grandemente influenciada por la viscosidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo, así bajas viscosidades indicarán mezclas muy maleables, altas viscosidades indicaran mezclas poco maleables. Por ejemplo, durante el diseño de una mezcla asfáltica utilizando el método Marshall, se especifica que las temperaturas de mezclado y compactación de los especímenes de ensayo, sean aquellas que produzcan las Viscosidade Cinemáticas en el cemento asfáltico, de 170 ± 20 cSt y 280 ± 30 cSt. respectivamente.

ENSAYO N°20 DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFALTICOS

RERERENCIAS: **ASTM D 113 - 86**
AASHTO T 51 - 93

1. ALCANCES.

En este ensayo se describe el procedimiento de laboratorio para obtener la Ductilidad de los Cementos Asfálticos provenientes de la refinería o fuente de suministro o de la destilación de un producto asfáltico como Asfalto Líquido o Emulsión Asfáltica.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 Estándares ASTM

D 5- 86 Penetración de Cementos Asfálticos
D 140-88 Práctica para muestreo de materiales bituminosos.

3. RESUMEN DEL METODO.

Tres briquetas de Cemento Asfáltico, sostenida cada una por dos extremos ancladas a dos quijadas de bronce o latón, son colocadas dentro de un baño de agua a 25°C para ser tensadas a una velocidad de estiramiento de 5 cm/min.

4. SIGNIFICADO Y USO.

Este ensayo provee una medida de las propiedades al estiramiento de los Cementos Asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera que los asfaltos que tienen altas ductilidades poseen altas cualidades de cementación en los pavimentos y se adhieren bien a los agregados; estos mismos, presentan a la vez características de poca susceptibilidad a elevadas temperatura.

5. DEFINICIONES

5.1 Ductilidad del Cemento Asfáltico

Es la capacidad que tiene un cemento asfáltico de resistir esfuerzos de estiramiento, bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.

6. EQUIPO Y MATERIALES.

6.1 Moldes de bronce o latón para elaborar alas briquetas, compuesto por dos quijadas o mordazas y placa de apoyo de 2.0 mm de espesor, con las dimensiones que se indican en la FIG.20.1

6.2 Ductilómetro con baño de agua y termostato incorporado para la regulación de la temperatura del agua a 25°C. Además debe ser capaz de imprimir fuerzas de estiramiento a una velocidad de 5 cm/min.

6.3 Baño María, capaz de proporcionar a las muestras una temperatura de 25°C, antes del estiramiento.

6.4 Termómetros de 5 a 50°C y de 10 a 200°C.

6.5 Misceláneo.
Espátula, Mechero Bunsen, Hornilla, Beaker de 500 ml, Guantes de Asbesto, Grasa, papel higiénico o periódico y sal común.

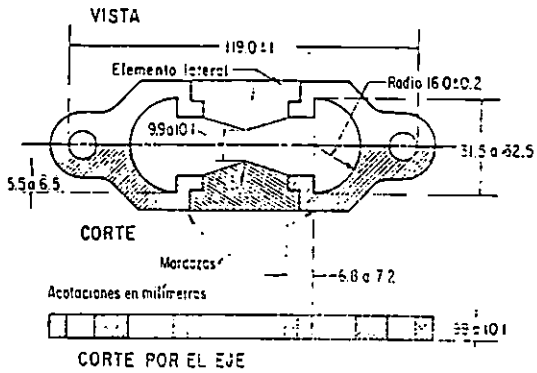


FIG.20.1 Molde para elaborar la briqueta en la prueba de ductilidad

7. PROCEDIMIENTO.

7.1 El Cemento Asfáltico proveniente de la fuente de suministro o de la destilación del Asfalto Líquido o Emulsión Asfáltica, se calienta hasta la temperatura mínima que le permita tener fluidez .

7.2 Preparar los moldes, fijándolos en la base de apoyo y dándoles un recubrimiento de grasa a la base y a los clips centrales, esto para evitar que el asfalto se pegue a éstos al momento de eliminarlas para introducir las muestras al ductilómetro.

7.3 Cuando el Cemento Asfáltico esta fluido se procede a llenar los moldes con éste. Durante esta operación debe permitirse que el bulbo de Cemento Asfáltico quede sobre la superficie del molde, ya que éste al enfriarse tiende a disminuir de volumen.

7.4 Preparar el baño María y el agua del Ductilómetro a 25°C. Agregar 2 lbs. de sal al agua del Ductilómetro. Esto permitirá que el agua se vuelva más pesada que el asfalto, logrando así que este último flote sobre la primera (el objeto es aumentar el peso específico del agua del dulctilómetro de tal forma que el asfalto cuyo Peso Específico varía de 0.99 a 1.04, flote en el agua salada cuyo Peso Específico varía de 1.02 a 1.04).

7.5 Los moldes llenos de Cemento Asfáltico se dejan enfriar a temperatura ambiente. Luego de esto se procede a enrasar el exceso del mismo con una espátula calentada a temperatura moderada.

7.6 Introducir los moldes con las muestras al baño María por un período de 85 a 95 min, a fin de que éstas adquieran la temperatura de 25°C. Durante este tiempo verifique la velocidad de estiramiento del Ductilómetro (5 cm/min).

Transcurrido este tiempo, desprender las quijadas con las briquetas, de la base y los clips centrales y proceda a ensamblar cada quijada o mordaza en los pines incorporados al carruaje de estiramiento del Ductilómetro.

7.7 Colocar la aguja indicadora de estiramiento en la marca del cero e iniciar el proceso de estiramiento, hasta lograr que las briquetas se rompan en la parte central del material estirado (Ver FIG. 20.2)

7.8 Una vez las briquetas han sido rotas, retirar las quijadas del ductilómetro y se procede a la limpieza del equipo.

8. CALCULOS

8.1 Calcular el promedio de los resultados obtenidos. Para promediar resultados, éstos no deben variar entre sí, en más de 3 cm.

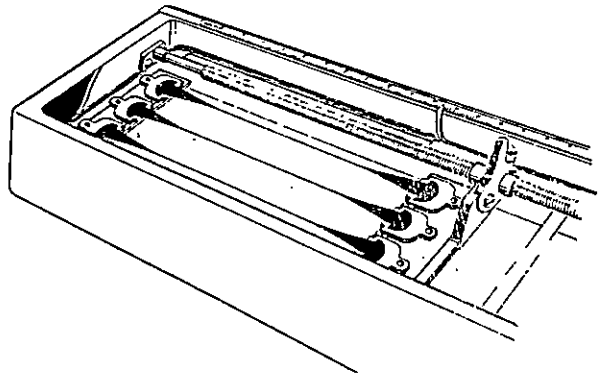


FIG.20.2 Proceso de estiramiento de las briquetas dentro del ductilómetro. La velocidad de estiramiento es de 5 cm/min.

9. INFORME.

El informe debe incluir :

9.1 Identificación de la muestra.
9.2 Temperatura de ensayo.
9.3 Promedio de los tres o dos resultados obtenidos. Para poder promediar resultados menores de 100 cm, los tres o dos resultados , no deben desviarse entre sí, en más de 5 cm. Por otro lado si los tres o dos resultados son mayores de 100 cm. se deberá reportar la Ductilidad como mayor de Cien centímetros (+ 100).

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Si la ductilidad a 77°F(25°) es menor de 100 cm, el material podrá ser aceptado solo si la ductilidad a 60°F(15.5°C) es 100 cm como mínimo, aplicando siempre una velocidad de estiramiento de 5 cm/min.

b. No debe permitirse la formación de burbujas en el momento de formación de las briquetas. Para esto siempre es recomendable agitar bien el Cemento Asfáltico durante el calentado y no permitir durante esta actividad temperaturas mayores a 302°F(150°C).

c. Durante la preparación de las muestras, debe proveerse a los moldes de un recubrimiento uniforme de grasa o talco, esto evitará que durante la eliminación de la base de apoyo de los moldes y de los clips centrales, éstos deformen las briquetas en su parte central, por adherencia de asfalto a los mismos.

d. Durante el ensayo, las briquetas estiradas no deben tocar el fondo del tanque del ductilómetro

e. La temperatura del agua del tanque en el ductilómetro debe ajustarse de tal forma, que la temperatura sea de 25°C a una distancia máxima de 2.5cm, al rededor de la briqueta. El agua debe cubrir a la briqueta en por lo menos 2.5 cm. sobre su cara superior.

f. Durante el ensayo no debe aplicarse movimiento al agua, ya que esto puede ocasionar el rompimiento anticipado de las briquetas estiradas.

10.2 De la utilidad de la Ductilidad

a. Tal como se indica en la Sección 4 de este ensayo, las propiedades de estiramiento que tiene un Cemento Asfáltico pueden determinarse a través del ensayo de Ductilidad. Al observar la temperatura de ensayo (25°C) se puede inferir que en nuestro medio, dicha temperatura es la que en nuestro medio, sería la mínima promedio bajo la cual trabajaría el asfalto. Así la consistencia medida bajo esta temperatura representa el máximo valor promedio de Ductiidad del asfalto, es decir la máxima consistencia promedio que logra tener el asfalto bajo condiciones ambientales promedios, ya que temperaturas mayores harán disminuir la consistencia del mismo.

b. Los valores de Ductilidad son generalmente usados para clasificación del material asfáltico. Aunque también, durante el desarrollo de un proyecto de carreteras, este valor debe utilizarse como un indicador rutinario de la calidad del cemento asfáltico, ya que el calentamiento a que se ve expuesto este material durante la fabricación de la mezcla asfáltica, puede alterar significativamente las propiedades del mismo.

ENSAYO N°21 : PUNTO DE REBLANDECIMIENTO DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS (MÉTODO DEL ANILLO Y ESFERA).

REFERENCIAS : ASTM D 36 - 79
AASHTO T 53 - 93

1. ALCANCES.

Este ensayo cubre la determinación del Punto de Reblandacimiento de los Cementos Asfálticos usando el método del anillo y la esfera.

Los resultados de esta prueba permiten estimar la consistencia de los Cementos Asfálticos.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 Estándares ASTM

D 140-88 Práctica para muestreo de materiales bituminosos.

3. RESUMEN DEL MÉTODO.

Se determina la temperatura a la cual una muestra de asfalto, sostenida en un anillo horizontal y calentada gradualmente dentro de un baño de agua o de glicerina y bajo la acción del peso de una esfera de acero, alcanza una deformación de 25.4 mm (1 pul).

4. SIGNIFICADO Y USO.

La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representara aquella a la cual un Cemento Asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de Consistencia en el mismo, por lo tanto, el Punto de Reblandecimiento es también una prueba de resistencia a la deformación del Cemento Asfáltico, o sea, en última instancia, es también una prueba de Viscosidad. Esta pérdida de Consistencia, predispone al Cemento Asfáltico a volverse cada vez más Líquido, característica no deseable en condiciones de trabajo para este material.

El valor obtenido podrá usarse para tener una idea de la susceptibilidad térmica del asfalto ensayado, es decir la temperatura a la cual el cemento asfáltico (AC), empieza a perder cosistencia a causa de las temperaturas que lo rodean.

El solo valor del Punto de Reblandecimiento de un Cemento Asfáltico no podrá ser usado para determinar la aceptabilidad del mismo para un uso específico

5. DEFINICIONES.

5.1 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Es la temperatura a la cual el Cemento Asfáltico ha perdido consistencia (resistencia) a causa de la temperatura (de ensayo o de trabajo), a la cual éste es sometido

5.2 CONSISTENCIA

Es el estado físico que presenta un asfalto en un momento dado, con relación a los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia.

6. APARATOS .

6.1 Anillo de latón y porta-anillo, con las dimensiones que se indican en la FIG.21.1a y 21.1.b

6.2 Esferas de acero (2) con las siguientes características:

6.2.1 Diámetro : 9.5 mm
6.2.2 Peso : 3.5 ± 0.05 g

6.3 Termómetro con escala de 30° a 200°C.

6.4 Misceláneo
Beaker de 500 ml, tipo Pyrex., Pinzas adecuadas para manejar la esfera, Fuente de calor regulable, Guías centradoras de las esferas, placas de vidrio de 15 x 15 cm, agua limpia o glicerina.

7. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Se calienta la muestra traída del campo de tal forma de volverla líquida sin aumentar su temperatura a más de 150°C. Luego se toma una muestra representativa en un Beaker, esta servirá para llenar los anillos de Cemento Asfáltico.

Los anillos se colocan sobre una placa de vidrio, sobre la cual se coloca una porción de papel higiénico mojado, a fin de evitar que la muestra se pegue al vidrio cuando se enfrié. El Cemento Asfáltico, aun en estado líquido, se vierte cuidadosamente dentro de cada anillo, hasta lograr llenarlo completamente. Se enfrían estos especímenes a temperatura ambiente y luego se enrasan a nivel de la superficie superior de los anillos,

para esto se utiliza una espátula calentada. Después de esto se deja que los especímenes vuelvan a tomar la temperatura ambiente para poder comenzar el procedimiento de ensayo.

8. PROCEDIMIENTO.

8.1 Se coloca agua en un Beaker de 1000 ml. de capacidad de tal forma que el Porta Anillos quede inmersa en éste.

8.2 Se colocan los anillos en el Porta Anillos. Seguidamente se colocan las esferas de acero sobre los especímenes, haciendo uso de las guías centradoras.

8.3 Se introduce al Beaker, el conjuntó Porta Anillos - Esferas - Termómetro y se comienza a aplicar la temperatura, a una razón de 5°C por minuto (Ver FIG.21.1c).

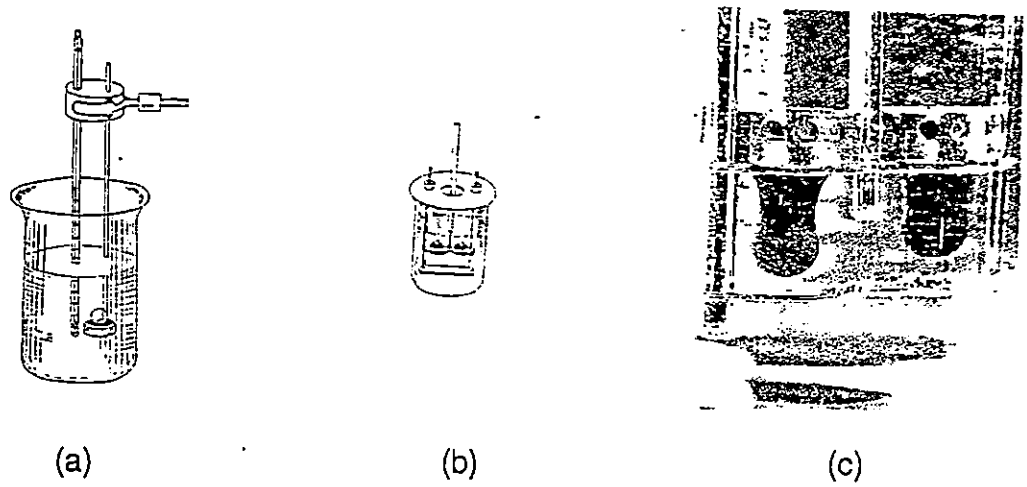


FIG 21.1 a y b) Disposición del equipo para la obtención del Punto de Reblandecimiento de Cementos Asfálticos (1 ó 2 anillos)
c) Asfalto en proceso de reblandecimiento

8.4 Obsérvese los especímenes y anotar la temperatura a la cual éstos especímenes deformados por el peso de las esferas, tocan la base del Porta Anillo. Esta separación entre parte inferior de los especímenes y la base del porta anillo es de una (1) pulgada (2.54 cm).

9. CÁLCULOS.

Expresar la temperatura correspondiente al Punto de Reblandecimiento como el promedio de las lecturas registradas para ambas muestras.

10. INFORME.

El informe deberá contener :.

12.1 Identificación de la muestra.

12.2 Aspectos observables durante la preparación de la muestra, tal como formación de espuma.

12.3 El promedio de las temperaturas registradas con aproximación de 0.5°C y expresado como el Punto de Reblandecimiento del material ensayado.

11. COMENTARIOS

11.1 Sobre el proceso de ensayo

a. Durante la preparación de las muestras, el Cemento Asfáltico (AC), no deberá calentarse a más de 150°C.

b. Al colocar las esferas de acero, deberá tenerse cuidado que los pines de las guías centradoras, no contengan residuos de asfalto de ensayos anteriores.

c. En caso de materiales con Punto de Reblandecimiento superior a los 80°C, el procedimiento de prueba será el mismo que el descrito en los incisos del literal N°8, excepto que en lugar de utilizar agua en el Beaker, se emplea glicerina, iniciando la prueba a una temperatura de 32°C.

d. Los incrementos de temperatura del agua serán a razón de 5°C por minuto, debiendo evitarse que haya corrientes de aire en el lugar donde se efectúa la prueba.

e. Las causas más frecuentes de error en esta prueba son las siguientes :

e.1 La presencia de burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de asfalto.

ENSAYO N°22 ENSAYO DE FLOTACION PARA MATERIALES BITUMINOSOS.

REFERENCIAS **ASTM** **D 139 - 83(1993)**
AASHTO **T 50 - 93**

1. ALCANCES.

Este ensayo cubre la determinación del Tiempo de Flotación, como una medida de la consistencia de materiales bituminosos demasiado blandos.

Este método de ensayo es útil para determinar la consistencia de materiales asfálticos que, por ser muy blandos, no se pueden ensayar mediante el método de Penetración.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 Estándares ASTM.

D 140-70(1981)	Práctica para muestreo de materiales bituminosos.
D 244-89	Métodos de ensayo para Emulsiones Asfálticas.

3. RESUMEN DEL METODO.

Un tapón de betúmen es vaciado en un collar con forma de cono truncado. Este es colocado en un casquete flotador de aluminio. El conjunto formado es luego colocado dentro de un baño a temperatura especificada. El tiempo en segundos, s, entre el momento en que se colocó el conjunto dentro del baño y aquel en el cual el agua atraviesa el tapón de betúmen será el Tiempo de Flotación o medida de la consistencia del material bajo ensayo.

4. SIGNIFICADO Y USO.

La prueba de Flotación caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de Penetración.

Este ensayo, principalmente es usado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento(SC).

El valor obtenido es usado como un elemento en el establecimiento de la uniformidad de ciertos cargamentos de material asfáltico o fuentes de suministro.

5. DEFINICIONES

5.1 CONSISTENCIA

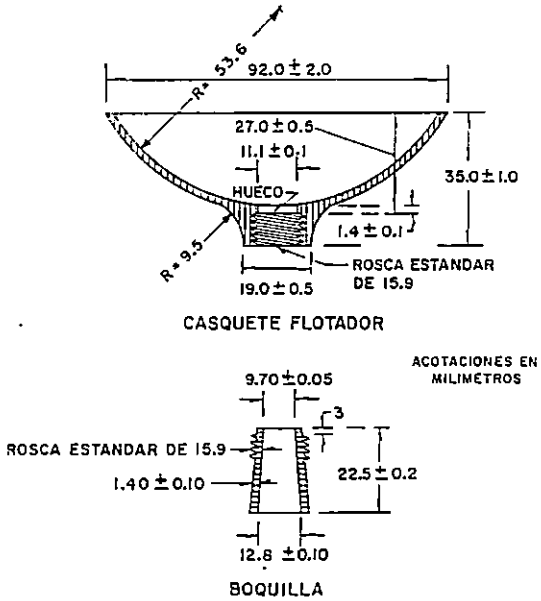
Es el estado físico que presenta un material líquido o semisólido (asfalto) en un momento dado, con relación a los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia.

5.2 PRUEBA DE FLOTACION

Es el ensayo de laboratorio mediante el cual se determina indirectamente, la consistencia (expresada en términos de tiempo) de materiales bituminosos que por su misma naturaleza blanda, no se puede medir mediante otros ensayos que pretenden el mismo fin, en materiales bituminosos semisólidos.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS.

6.1. Casquete flotador de aluminio o de una aleación de aluminio y collar o boquilla de bronce o de latón cuyos pesos y dimensiones se indican en la FIG. 22.1



ELEMENTO	PESO EN g	MATERIAL
CASQUETE FLOTADOR	37.90 ± 0.20	ALEACION DE ALUMINIO
BOQUILLA	9.80 ± 0.20	BRONCE O LATON

FIG 22.1 Dimensiones del Casquete y Boquilla o Collar para la realización del ensayo de flotación.

6.2 Termómetro de inmersión total con escala capaz de medir de -2°C a 80°C, con aproximación de 0.2°C.

6.3 Baño María con capacidad para 50°C.

6.4 Misceláneo.
Soporte universal, espátula, mechero bunsen, papel higiénico o periódico, beaker de 250 ml, fósforos, hornilla, guantes de asbesto , agua , recipiente para enfriamiento del collar, hielo, cronómetro, talco y placa de latón con dimensiones apropiadas para la prueba.

7. PROCEDIMIENTO.

7.1 Se coloca la boquilla con el diámetro menor hacia abajo, sobre una placa de latón previamente preparada con una aplicación de talco para evitar que se le adhiera es asfalto.

7.2 Se calienta el asfalto a la temperatura más baja que le permita fluir, agitándolo para homogenizarlo y eliminarle las burbujas de aire que pudiera tener atrapadas; a continuación se vacía suficiente cantidad de la muestra en la boquilla para tener un ligero exceso de material asfáltico en la parte superior de la misma.

7.3 Se deja enfriar la boquilla a la temperatura ambiente, conteniendo el material asfáltico durante un tiempo entre 15 a 60 min y en seguida se coloca en el recipiente con agua a la temperatura de cinco grados centígrados (5°C) y se mantiene en estas condiciones durante cinco (5) minutos.

7.4 Se saca del recipiente de enfriamiento la boquilla conteniendo el material asfáltico y con una espátula ligeramente caliente se le elimina el exceso de asfalto y se coloca nuevamente en el recipiente de enfriamiento a 5°C, durante 15 a 30 min.

7.5 Se calienta el agua en el baño María a 50°C y se mantiene en estas condiciones de manera que no varíe más de 0.5°C, de la temperatura especificada para la prueba y sin agitar el agua. Para registrar esta temperatura el termómetro se coloca de manera que su bulbo quede a 40 ± 2 mm abajo de la superficie del agua.

7.6 Se coloca la boquilla con la muestra en el casquete, atornillandola para tal fin. En estas condiciones se sumerge el conjunto Casquete, boquilla y muestra en el recipiente de agua fría (5°C) durante 1 min. Se revisa que la temperatura del agua en el baño María sea de 50°C e inmediatamente se coloca el conjunto en este baño de manera que el casquete flote libremente en éste. El cronómetro se acciona justamente en el momento que la boquilla atornillada al casquete toca el agua del baño María, la cual tiene la temperatura de 50°C. El material asfáltico se va reblandeciendo a medida que su temperatura aumenta, se observara que esta muestra contenida en la boquilla, se desplaza hacia arriba, a causa de la presión del agua sobre ésta.

Después de un tiempo, el agua penetrará dentro del casquete; en ese momento se detiene el cronómetro y este tiempo transcurrido se reporta como TIEMPO DE FLOTACION O CONSISTENCIA del material asfáltico (Ver FIG.22.2).

8. CALCULOS

NOTA 1 : Este es un ensayo que no requiere de cálculos numéricos

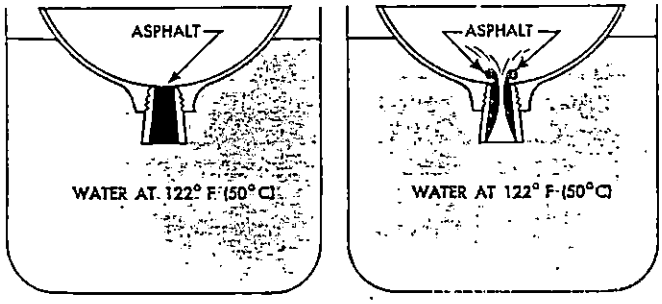


FIG.22.2 Montaje de la prueba de Flotación de materiales bituminosos

9. INFORME.

Este informe deberá contener :

9.1 El origen del material ensayado (Cemento asfáltico de refinería o producto de la destilación de asfalto líquido o emulsión asfáltica).

9.2 Identificación de la muestra (fuente de suministro).

9.3 Tiempo en segundos necesarios para que el agua entre al casquete (TIEMPO DE FLOTACION).

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Antes de introducir el conjunto casquete, boquilla y muestra al baño con agua fría se revisará que el agua no pase por la junta de ajuste entre ambos.

b. Revisar que el peso del casquete con la boquilla instalada y conteniendo la muestra de asfalto, sea el adecuado para que el borde superior del casquete sobresalga de la superficie del agua 8 mm aproximadamente.

10.2 De la utilidad del ensayo de Flotación

a. Aunque es un ensayo poco utilizado en la práctica ingenieril de carreteras, puede desarrollarse, ante la necesidad de medir consistencias de materiales asfálticos muy blandos en donde el ensayo de penetración, no es acorde por las mismas características de dureza del material ensayado.

ENSAYO N° 23 ENSAYO DE SOLUBILIDAD PARA MATERIALES ASFALTICOS EN TRICLOROETHILENO (TRICHLOROETHYLENE).

REFERENCIAS : ASTM D 2042-81(1985)
AASHTO T 44 - 93

1. ALCANCES.

En este ensayo comprende la determinación del grado de solubilidad en trichloroethylene de materiales asfálticos que tienen o no, pequeñas cantidades de materia mineral.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 ESTANDARES ASTM

D 2172-93 Determinación del contenido de betúmen en mezclas asfálticas.

3. RESUMEN DEL METODO.

Una muestra de 2.0 gr aproximadamente, es disuelta en tricloroethileno para poder filtrarla a través de un embudo Gooch con filtro de papel. La diferencia entre el peso inicial y el final de la muestra, expresada como porcentaje del peso inicial será el grado de Solubilidad de la muestra ensayada.

4. SIGNIFICADO Y USO.

El grado de solubilidad de un material asfáltico, indica el la porción de constituyentes cementantes activos en el cemento asfáltico ensayado, en otras palabras este ensayo se utiliza para determinar la pureza de un asfalto. Sólo la materia inerte (no cementantes) como sales, carbón libre o impurezas orgánicas SON INSOLUBLES en el solvente señalado.

Este ensayo puede usarse además para determinar el grado de contaminación que ha sufrido un asfalto, como parte de una mezcla asfáltica colocada.

5. DEFINICIONES

5.1 Solubilidad de un asfalto

Es la capacidad que tiene un asfalto para diluir sus asfaltenos en un solvente volátil.

6. APARATOS Y MATERIALES.

6.1 Bomba de succión o de Vacío con capacidad para aplicar una presión por succión de 25 mmHg y manguera de Binilo para adaptar el Quitazato.

6.2 Embudo Gooch porcelanizado excepto en su base, con diámetro superior de 44 mm y en la base de 36 mm.

6.3 Frasco Quitazato de cristal , con capacidad de 500 ml.

6.4 Frasco Erlenmeyer de cristal, con capacidad de 500ml

6.5 Papel filtro .

6.6 Tricloroethileno, grado industrial **(PRECAUCION : ESTE MATERIAL ES TOXICO, ES NECESARIO CONTAR CON BUENA VENTILACION EN EL SITIO QUE SE REALICE EL ENSAYO).**

6.7 Misceláneo.
Balanza analítica, horno eléctrico, tijeras para cortar papel, mechero Bunsen, horno eléctrico, hornilla, fósforos, tapón de hule o neopreno con orificio central y agitador de cristal.

7. PREPARACION DE LA MUESTRA.

7.1 Calentar el Cemento Asfáltico de tal forma de darle fluidez a la mínima temperatura posible y depositar 2.0 ± 0.2 g. en un frasco Erlenmeyer previamente pesado. Anotar el peso como Pim (Peso inicial de la muestra).

7.2 Verter 100 ml de solvente en el frasco que contiene a la muestra de Cemento Asfáltico y agitar éste usando un agitador de cristal para ayudar a que la muestra de asfalto se disuelva. Dejar reposar esta solución por 30 ó 45 minutos y luego verificar con el agitador si la muestra está completamente disuelta.

7.3 Colocar el filtro de papel, previamente pesado, en el embudo Gooch, de tal forma que éste quede adecuadamente ajustado a la pared del embudo. Anotar el peso del filtro como Pif (Peso inicial del filtro).

7.4 Conectar el sistema de succión tal como se muestra en la FIG.23.1

7.5 Vaciar una pequeña parte de la solución sobre el embudo Gooch y dejarla reposar por un (1) minuto, sin activar la bomba de succión.

7.6 Transcurrido este tiempo, accionar la bomba de succión. Los materiales disueltos en el Tricloroethileno empezaran a fluir hacia el interior del Quitazato (Filter Flask), cuando la porción vertida, a fluido completamente, se procede a verter otra pequeña porción para filtrarla a través del embudo con el papel filtro. Esto se repite hasta que toda la solución a sido vaciada. En este momento se vierten 100 ml adicionales de Triclorohetileno sobre el frasco Erlenmeyer para asegurar que no quedan residuos de Cemento Asfáltico en éste. Repetir el proceso de succionado con este solvente adicional.

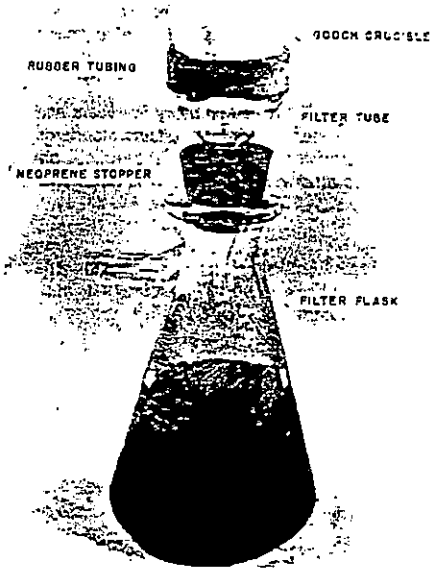


FIG. 23.1 Montaje del sistema de succión para desarrollar el ensayo de Solubilidad de los Cementos Asfalticos.

7.7 Logrado lo anterior se procede a retirar el filtro del embudo Gooch y se lleva al horno para secarlo durante 15 a 20 min. a una temperatura de 100°C. Transcurrido este tiempo, se saca el filtro y se pesa nuevamente. Anotar este peso como Pff (Peso final del filtro).

8. CALCULOS

8.1 Determinar la SOLUBILIDAD del material asfáltico ensayado mediante la siguiente ecuación :

$$\% S = \frac{Pim - (Pff - Pif)}{Pim} \times 100 \qquad \text{(Ec. 23.1)}$$

En donde : Pim : Peso inicial de muestra, g
Pfm ; Peso final de muestra, g
Pif : Peso inicial del filtro, g
Pff : Peso final del filtro, g

9. INFORME.

El informe debe contener lo siguiente :

9.1 Identificación de la muestra.

9.2 Porcentaje de materiales solubles (SOLUBILIDAD).

9.3 Tipo de solvente utilizado.

9.4 Fuente de la muestra (Refinería o destilado).

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Se debe revisar que el filtro sea ajustado lo mejor posible al embudo Gooch, para evitar espacios libres entre éstos.

b. El vaciado de la muestra dentro del embudo Gooch, debe realizarse progresivamente en porciones pequeñas de solución solvente - asfalto, de tal forma de permitir que la succión pueda realizarse con eficiencia a través del filtro colocado en dicho embudo.

c. Durante el montaje del equipo de succión, se debe revisar que la manguera conectada al quitazato quede adecuadamente ajustada para no permitir fugas de presión (succión).

d. Debido a lo tóxico del solvente utilizado, durante la preparación de la solución y durante la succión de la muestra, se deberá utilizar una mascarilla que proteja eficientemente al operador del ensayo.

10.2 De la utilidad de la Solubilidad.

a. Cuando se sospecha que un asfalto ha sido contaminado, por algún factor, ya sea durante su almacenamiento, transporte o uso, es recomendable determinar el valor de su Solubilidad, ya que solo así se sabrá si este asfalto esta contaminado o no. Será necesario, realizar un análisis químico del asfalto contaminado, para determinar el tipo de contaminante en el mismo.

b. La contaminación en los asfaltos, puede ser causa de pérdidas en la estabilidad de la mezcla, con la consecuente formación de bolsas y corrimientos en la carpeta de la superficie asfáltica.

c. El ensayo de solubilidad es útil cuando se quiere determinar si una mezcla asfáltica colocada ha sido contaminada por agentes extraños. Para poder utilizarlo, habrá primero que recuperar el asfalto de la mezcla, utilizando el ensayo de reflujo (ASTM D 2172 - 93).

ENSAYO N°24 PUNTO DE FLAMA Y DE FUEGO DE MATERIALES ASFALTICOS UTILIZANDO LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND.

REFERENCIAS **AASHTO** **T 48 - 91**
ASTM **D 92 - 85**

1. ALCANCE

Este procedimiento de ensayo cubre la determinación de el Punto de Inflamación y el Punto de Llama de productos asfálticos.

Este método no es aplicable a productos asfálticos con puntos de inflamación, en tasa abierta, abajo de 175°F(79°C). El ensayo de éstos se lleva a cabo mediante el procedimiento ASTM D 1310 (AASHTO T 79)

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 ESTANDARES ASTM

D 93 - 85 Punto de Flama utilizando el ensayo cerrado de Pensky Martens.

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 79-91 Punto de flama utilizando la copa abierta de Tag.

3. RESUMEN DEL METODO

Una muestra de material asfáltico se coloca dentro de una copa de dimensiones especificadas en la FIG.24.1, hasta el nivel indicado en la misma. La temperatura de la muestra se incrementa rápidamente para determinar el Punto de Flama y luego para el Punto de Llama se hace incrementar lentamente a rango constante. A intervalos especificados, una pequeña llama de prueba es pasada sobre y a través del borde superior de la copa. La menor temperatura a la cual, la aplicación de la llama de prueba, causa que los vapores desprendidos de la muestra, se inflamen instantáneamente, se denomina PUNTO DE INFLAMACION. Para determinar el PUNTO DE LLAMA, el ensayo es continuado hasta lograr la temperatura a la que, la aplicación de la llama de prueba causa que los vapores y aceites sobre la superficie de la muestra, se enciendan y se mantengan encendidos en por lo menos 5 s.

4. SIGNIFICADO Y USO

El Punto de Flama corresponde a la temperatura mediante la cual el asfalto puede ser calentado con seguridad, sin peligro de que se incendie en presencia de una llama abierta.

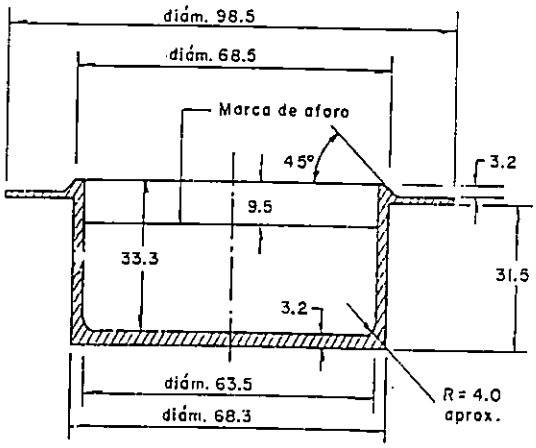
Puede ser utilizado en plantas de producción de mezcla asfáltica, para el control del calentamiento aplicado a los silos de almacenamiento de Cemento Asfáltico.

5. DEFINICIONES

NOTA 1 : Ver RESUMEN DEL METODO

6. APARATOS Y MATERIALES

6.1 Aparato con Copa Abierta de Cleveland, consistente en una copa de ensayo, superficie de calentamiento, llama de prueba incorporada (Ver FIG.24.1).



Acotaciones en milímetros con tolerancia de ± 0.5 milímetros, excepto las indicadas en otra unidad
Material : Latón, bronce o metal no reactivo

FIG. 24.1 Copa Abierta de Cleveland y sus dimensiones.
El calentamiento de la muestra puede ser hecho utilizando mechero Bunsen y hornilla o un aparato con resistencia de calentamiento incorporada. Fuente : Materiales asfálticos utilizados para pavimentación., SCT.1987

6.2 Termómetro graduado de -6 a 400°C (20 a 760°F).

6.3 Misceláneo.
Espátula, guantes de asbesto, Wipper, mechero Bunsen, fósforos.

7. PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar el procedimiento de ensayo, hay que asegurarse que la copa está libre de residuos de asfalto procedentes de ensayos anteriores. Si no lo está, deberá lavarse con un solvente apropiado y luego con detergente; secarla con una franela limpia y agregarle un poco de calor para evitar que queden residuos de solvente en ella. Realizar el montaje del aparato y la copa tal como se observa en la FIG.24.2

El termómetro se debe colocar a 6.4 mm(1/4") separada del fondo y de la pared de la copa de Cleveland.

7.1 Calentar la muestra de Cemento asfáltico (Asfaltos Líquidos ensayados usando ASTM D 1310) a la mínima temperatura que le permita fluir, esta temperatura siempre deberá estar 56°C bajo el probable punto de llama del material ensayado. Paralelamente a esta actividad la copa de Cleveland tiene que estar siendo calentada mediante una aplicación de calor baja.

7.2 Una vez el Cemento Asfáltico se ha fluidificado, se vierte parte de éste en la copa, de tal forma de que se llene hasta el nivel indicado.

7.3 Encender la Llama de Prueba de tal forma que este ajustada para que tenga un diámetro aproximados de 3.2 a 4.8 mm(1/8" a 3/16").

7.4 Aplicar calor, de tal forma que la muestra experimente incrementos de temperatura entre 14 a 17 °C/min(25 a 30°F/min). Cuando la temperatura de la muestra es aproximadamente 56°C (100°F) bajo el supuesto Punto de Flama, se disminuye el calor de tal forma que los incrementos de temperatura no sean mayores de 5 a 6°C (9 a 11°F) en los últimos 28°C (50°F), antes del Punto de Flama.

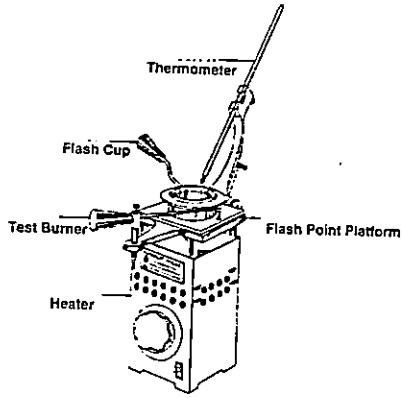


FIG. 24.2 Montaje del aparato para la determinación del Punto de Flama y de Llama de materiales asfálticos.El aparato puede ser de calentamiento con mechero o eléctrico.

7.5 Iniciar la aplicación de la Llama de Prueba en los últimos 28°C(50°F), aplicándola cada vez que la lectura del termómetro indique un incremento de 2°C (5°F). La llama de prueba debe pasar por el centro de la copa en un lapso no mayor de un segundo. OBSERVAR CUIDADOSAMENTE LA SUPERFICIE DE LA COPA MIENTRAS SE HACE PASAR LA LLAMA DE PRUEBA.

Anotar como PUNTO DE FLAMA la temperatura a la cual se observa que existe una combustión instantánea (tipo explosión) en la superficie de la copa de Cleveland.

Debe tenerse cuidado de no confundir la flama verdadera con cierta aureola azulada que algunas veces rodea a la llama de prueba.

7.6 Para determinar el PUNTO DE FUEGO o DE LLAMA se debe continuar el calentamiento, de tal forma que la temperatura de la muestra se incremente a una razón de 5 a 6°C/min (9 a 11°F), aplicando además la llama de prueba a cada 2°C (5°F) de incremento de temperatura del termómetro. Esto se realiza hasta que se logra encender losa vapores sobre la copa en por lo menos 5 s. La temperatura que marca el termómetro en ese momento se registra como PUNTO DE FUEGO.

8. CALCULOS.

Si la presión barométrica en el momento de realizar el ensayo, difiere de 760 mmHg, deberá corregirse la o las temperaturas obtenidas, usando la siguiente ecuación:

Para °F: $PF \text{ (ó } PI) = F + 0.06(760 - P)$ (Ec. 24.1)

Para °C: $PF \text{ (ó } PI) = C + 0.03(760 - P)$ (Ec. 24.2)

En donde :

PF : Punto de Flama.
PI : Punto de fuego.
F : Punto de flama o de fuego observada (°F).
C : Punto de flama o de fuego observada (°C).
P : Presión barométrica en mmHg.

9. INFORME

El informe deberá contener :

9.1 Identificación de la muestra.
9.2 Presión barométrica existente durante la realización del ensayo.
9.3 Temperaturas o PUNTO DE FLAMA Y DE FUEGO en °C y °F.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Para el punto de Flama, no deben realizarse dos lecturas consecutivas que difieran en más de 1°C.

b.. Se recomienda registrar en un cuadro, las temperaturas obtenidas en cada incremento, de los mencionados arriba.

c. Deben evitarse corrientes de aire en el lugar donde se realiza el ensayo.

d. El tiempo durante el cual se pasa la llama de prueba sobre la copa, no debe exceder en todo caso de 2 seg. ya que un tiempo mayor tiene tendencia a calentar directamente los vapores desprendidos del material asfáltico ensayado.

10.2 De la utilidad de punto de Flama y de Llama

a. El valor obtenido en este ensayo cobra más importancia cuando los trabajos realizados, son con asfaltos líquidos, por ejemplo los RC aplicados en los riegos de imprimación de bases, debido a que el solvente que poseen (gasolina) es muy inflamable. Debe realizarse un control cuidadoso sobre los camiones distribuidores que transportan estos materiales asfálticos, pues de existir una llama abierta, que entre en contacto con los vapores que de éstos se desprenden, puede producirse el incendio inmediato de estos camiones. En resumen, los valores del punto de flama y de llama son de gran utilidad en el campo, pues permiten tener una referencia de las temperaturas de seguridad, con las cuales se puede manejar un material asfáltico.

b. Para el manejo de campo de asfáltos líquidos, siempre es recomendable especificar temperaturas de uso inferiores en 8 ó 10 grados, a las verdaderas temperaturas de flama y de llama de estos tipos de materiales.

ENSAYO N°25 GRAVEDAD ESPECIFICA DE MATERIALES ASFALTICOS SEMI-SOLIDOS.

REFERENCIAS	ASTM	D 70-82
	AASHTO	T 228-93

1. ALCANCES

Este ensayo cubre la determinación de la Gravedad Específica y la Densidad de Cementos Asfálticos, Asfaltos Líquidos y Emulsiones Asfálticas, mediante el uso de picnómetros aforados.

Este método puede utilizarse además, para determinar la Gravedad Específica de resínas o alquitranes de consistencia blanda.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 140 Práctica para el muestreo de materiales bituminosos.

3. RESUMEN DEL METODO

Utilizando un Picnómetro aforado, se registran cuatro (4) pesos, A, B, C y D, descritos en el proceso de ensayo. Estos pesos se toman a una temperatura de 25°C y utilizando la Ec. 25.3 se determina experimentalmente la Gravedad Específica del Cemento Asfáltico.

4. SIGNIFICADO Y USO

De modo general, la Densidad de un cuerpo significa la masa contenida en la unidad de volumen de un cuerpo, de ahí que, esta propiedad es inherente a la Gravedad Específica del mismo, ya que, en la medida que el cuerpo tenga más o menos masa por unidad de volumen, así tendrá mayor Gravedad Específica.

Los valores de Gravedad Específica y Densidad son usados en la comercialización de Cementos Asfálticos, para convertir volúmenes a unidades de peso, además estos datos son usados en el cálculo del Porcentaje de Vacíos en mezclas asfálticas compactadas. Así como también el resultado de este ensayo puede ser utilizado durante la realización de la Ductilidad de Cementos Asfálticos, para evaluar la necesidad de agregar sal al agua del ductilómetro, con el fin de volver más densa al agua local, en el caso que la Densidad del material ensayado sea mayor que aquella.

5. DEFINICIONES.

Las siguientes definiciones serán dadas para los propósitos que pretende este ensayo.

5.1 Gravedad Específica (G.E)

Es la relación entre el Peso de un volumen dado de Cemento Asfáltico a 25°C (77°F) ó a 15.6°C (60°F) y su correspondiente Peso del Volumen de agua (a la misma temperatura) que éste desplaza dentro del recipiente que los contiene.

$$G.E\ (77/77°F) = \frac{W_{CA}}{W\ v.d} \qquad \text{(Ec. 25.1)}$$

En donde :

W_{CA} : Peso de la muestra de Cemento Asfáltico.
W v.d : Peso del volumen de agua desplazado por la muestra de Cemento Asfáltico.

NOTA 1: Según la definición anterior esta es una medida adimensional.

5.2 Densidad (D)

Es la relación entre el peso de la masa de un cuerpo y su correspondiente volumen.

$$D\ (77°F) = \frac{W\ m}{V\ m} \qquad \text{(Ec. 25.2)}$$

En donde : W m : Peso de la muestra de C.A.
V m : Volumen de la muestra de C.A.

NOTA 2: Según esta definición, las unidades de esta medida serán de peso sobre volumen. La más común es g/cm^3.

6. EQUIPO E INSTRUMENTOS.

6.1 Picnómetros de vidrio con las dimensiones que se indican en la FIG 25.1 (a). Estos podrán tener la forma indicada en la figura 25.1 (b).

6.2 Baño de Agua, capaz de mantener una temperatura constante de 25°C con variaciones entre 0.1°C.

6.3 Termómetros de vidrio graduados, con aproximación de 0.1°C y con capacidad para 25°C.

6.4 Balanza de presición, con aproximación de 0.01 g.

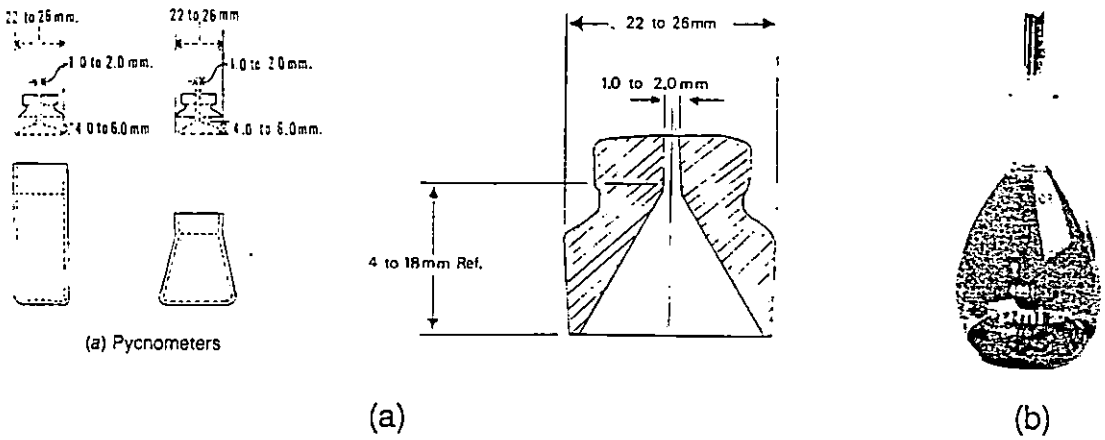


FIG.25.1 (a) Dimensiones (b) formas del picnómetro para Gravedad Específica de materiales asfálticos.

6.5 Equipo Misceláneo consistente en espátula, hornilla, mechero bunsen, fósforos o chispero, guantes de asbesto y papel periódico e higiénico .

6.6 Los materiales a usar consisten únicamente en agua destilada o des-ionizada.

7. PREPARACION DE LA MUESTRA

Deberá tomarse una muestra de Cemento Asfáltico de aproximadamente 250 g., la cual debe estar libre de sustancias contaminantes. Esta se debe calentar de tal forma de permitirle su fluidez a la menor temperatura posible. En estas condiciones deberá depositarse oportunamente dentro de los picnómetros (dos por lo menos), teniendo cuidado que en este acto, el cuello de los mismos no se enégue de asfalto.

8. PROCEDIMIENTO.

8.1 Pesar cada picnómetro con su tapón, completamente seco y limpio. Anotar estos pesos como A, en su columna correspondiente.

8.2 Determinar el peso de cada picnómetro lleno de agua, haciendo una calibración de cada uno de éstos. Este proceso se lleva a cabo llenando cada picnómetro tres veces y en cada vez, se afora, haciendo caer levemente su correspondiente tapón con orificio, hasta que el agua ubicada en el cuello del picnómetro haya sido desplazada completamente a través del orificio del tapón. El promedio de cada grupo de pesadas, para cada picnómetro, se anota como su correspondiente peso B. Los pesos aquí considerados deben incluir el tapón de cada picnómetro.

8.3 Depositar el Cemento Asfáltico en estado fluido, dentro de los picnómetros, aproximadamente hasta la mitad de la capacidad de su balón. Dejar enfriar a temperatura ambiente y luego introducirlos al baño María, durante 40 min. como mínimo, el cual debe mantener una temperatura de 25°C, con variaciones de 0.1°C. Transcurrido este tiempo, se registrara cada uno de estos pesos (con tapón), como C.

8.4 Llenar con agua cada picnómetro y aforarlo (1 vez). Registrar cada peso como D, en su columna correspondiente.

9. CALCULOS

9.1 Calcular la Gravedad Específica del Cemento Asfáltico,con aproximación de 0.001 g, utilizando la siguiente ecuación :

$$G.E._{CA} = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \qquad \text{(Ec. 25.3)}$$

Donde :

A : Peso del picnómetro seco y limpio con tapón, g
B : Peso del picnómetro lleno con agua y aforado, g
C : Peso del picnómetro con C.A. a temperatura ambiente, g
D : Peso del picnómetro con agua más C.A. y aforado a 25°C,g

9.2 Calcular la Densidad del Cemento Asfáltico, con aproximación de 0.001 g, utilizando la siguiente ecuación :

$$D_{CA} = W_T * (G.E._{CA}) \qquad \text{(Ec. 25.4)}$$

Donde :

W_T : Densidad del agua a la temperatura de ensayo.

T° ensayo, °C(°F)	Densidad del agua, g/cm³
15.6 (60)	0.9990
25.0 (77)	0.9971

NOTA 3: Si la temperatura de ensayo es diferente a las anotadas anteriormente, deberá multiplicarse el valor de la Gravedad Específica obtenido por un factor obtenido de dividir, la densidad del agua a la temperatura de ensayo por la densidad de agua a 25°C.(Ver ASTM D 854-92, TABLA 1, Densidades del agua a diferentes temperaturas).

9.3 La Gravedad Específica de Asfáltos Líquidos y Emulsiones Asfálticas deberá calcularse mediante la Ec. 25.5

$$G.E.a.l = \frac{A - B}{C - B} \qquad \text{(Ec. 25.5)}$$

En donde :

A : Peso del picnómetro lleno con emulsión asfáltica, g
B : Peso del picnómetro solo, seco y limpio, g
C : Peso del picnómetro aforado con agua, g

10. INFORME

El informe deberá contener :

11.1 Identificación de la muestra.
11.2 La Gravedad Específica y la Densidad con tres cifras decimales de aproximación, a la temperatura de ensayo.
11.3 Temperatura de ensayo.

0.005

11. COMENTARIOS

11.1 Del proceso de ensayo

a. Los valores de Gravedad Específica, no deben diferir entre sí, en más de 0.0008.

b. La Gravedad Específica de Asfaltos Líquidos o Emulsiones Asfálticas, se deberá realizar a 25°C.

c. Durante el vaciado del asfalto dentro del picnómetro, debe tenerse el cuidado de no derramar asfalto sobre el cuello del mismo. De suceder esto, se recomienda limpiarlo, haciendo uso de un wipper humedecido con gasolina, teniendo cuidado de que la gasolina contenida en el wipper, no sea excesiva, a fin que no se produzcan derramamientos de ésta dentro del picnómetro.

d. Debe ser utilizada una balanza con aproximación de 0.01 g. Además en el momento de tomar los pesos, se debe de estar seguro que el picnómetro no contiene humedad en su exterior.

11.2 De la utilidad de la Gravedad Específica

a. Es un valor utilizado en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, ya que se usa en la transformación de volúmenes a pesos o viceversa.

b. Un valor de Gravedad Específica que se encuentre disperso de la tendencia general, que se ha venido registrando en muestreos realizados al material procedente de la planta de producción de mezcla asfáltica, debe verificarse realizando un nuevo ensayo. Si persiste la dispersión, es probable que exista algún tipo de material contaminante en el asfalto analizado, por lo que será necesario realizar un ensayo de solubilidad, a fin de corroborar si existe o no contaminación.

ENSAYO N°26 DESTILACION DE ASFALTOS LIQUIDOS (CUTBACK)

REFERENCIAS : AASHTO T 78 - 90
ASTM D 402 - 76(1982)

1. ALCANCES

Este método de ensayo trata sobre la destilación de Asfaltos Líquidos (Cut-back). Este método no es aplicable a la destilación de emulsiones asfálticas.

2. DOCUMENTOS AFINES.

2.1 ESTANDARES ASTM

D 86 - 78	Destilación de productos de petróleo.
E 133-78(1984)	Especificación para equipo de destilación.
D 70 - 82	Gravedad Específica de materiales bituminosos semisólidos

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 62-86	Destilación de Creosatos
T 115-84	Destilación de productos de petróleo.
T 228-93	Gravedad Específica de materiales bituminosos semisólidos

3. RESUMEN DEL METODO

Una muestra de 200 mililitros de asfalto líquido es destilada en un frasco de 500 ml. de capacidad a un rango de temperatura controlada, hasta llegar a los 360°C(680°F), durante el cual también son medidos los volúmenes de solventes obtenidos a ciertas temperaturas especificadas. El residuo de la destilación y el destilado, pueden ser utilizados para la realización de ensayos requeridos.

4. SIGNIFICADO Y USO

Destilar un asfalto líquido, significa intentar separar la base asfáltica (Cemento Asfáltico en principio) del solvente volátil que la mantiene en suspensión.

Las propiedades del residuo después de la destilación no son necesariamente las del Cemento Asfáltico usado en la mezcla original, ni tampoco las del residuo que ha quedado en la mezcla preparada con asfalto líquido, cierto tiempo después de su colocación. De

aquí que el uso principal de este ensayo de laboratorio, sea el de separar ambos elementos, Residuo y Solvente, con el fin de conocer las propiedades que éste posee en un momento dado. Esto permitirá entonces el conocimiento de aquellas propiedades que rigen la calidad de un producto asfáltico de esta naturaleza.

Este ensayo también puede ser utilizado para identificar si el asfalto líquido corresponde realmente a la identificación de campo hecha para el mismo.

5. DEFINICIONES

5.1 RESIDUO ASFALTICO

Es un material , color negro o café marrón, obtenido directamente de la torre de destilación del petróleo, dentro de la cual se separa de los solventes volátiles, para proporcionarle la consistencia semisólida, que lo vuelve un material adecuado para pavimentación.

5.2 SOLVENTES

Productos líquidos derivados del petróleo, de alta, media o baja volatilización utilizados para diluir los materiales bituminosos de consistencia semisólida.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Equipo de destilación, indicado en la FIG 26.1

6.2 Balanza de 2610 g. de capacidad y con aproximación de 0.1g.

6.3 Beaker tipo Pyrex, con capacidad de 500 ml.

6.4 Misceláneo
Fósforos o chispero, papel higiénico, papel periódico, Wipper, espátula con hoja de 6" de largo, mascarilla protectora de doble filtro, gas propano , guantes de asbesto y recipientes metálicos para recepción del residuo.

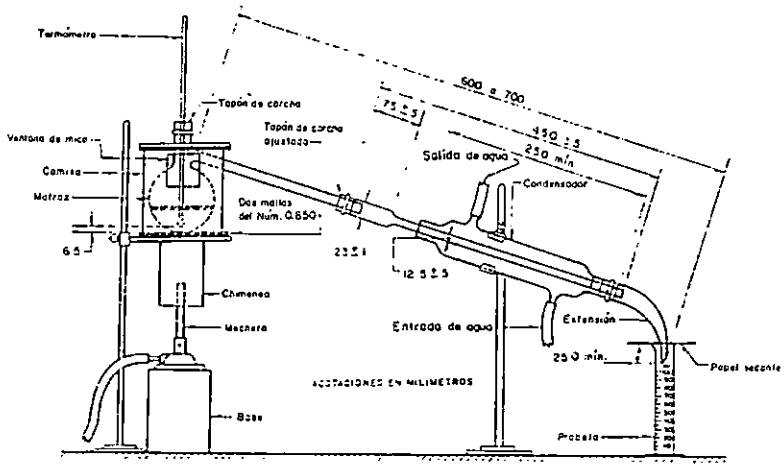


FIG. 26.1 Montaje del equipo para la destilación de Asfaltos Líquidos (Cut-back). El lector puede encontrar las dimensiones de las partes que lo constituyen en las especificaciones AASHTO o ASTM que rigen este ensayo.

7. MUESTREO

Para escoger la muestra de ensayo del recipiente traído del campo, se debe agitar la muestra de campo en forma vigorosa, con el fin de homogenizarla lo mejor posible.

Si existe evidencia suficiente de presencia de agua en la muestra a destilar, debe procederse a deshidratar una muestra no menor de 250 ml por calentamiento, utilizando un frasco de destilación lo suficientemente largo para prevenir que algunas espumas se depositen dentro del brazo lateral abierto. Cuando la espuma a cesado, se detiene la deshidratación. Si alguna cantidad de aceites volátiles a sido destilado durante el proceso de deshidratación, se debe recoger separándolo del agua y reintegrándolo al frasco, cuando la muestra se ha enfriado lo suficiente. Esto evitará la pérdida de dichos aceites. Mézclese el contenido del frasco vigorosamente antes de realizar el proceso de destilación.

8. PROCEDIMIENTO

8.1 Realizar el montaje del equipo de tal forma de lograr las medidas que se indican en la FIG.26.1.

8.2 Calcular el peso de± 200 ml (o un volumen aproximado : V1) de muestra, utilizando la Gravedad Específica del material a 15.6/15.6°C. Pesar esta cantidad con aproximación de ± 0.5 g. dentro del frasco de destilación y anotar este peso como W1.

8.3 Colocar el frasco dentro del blindaje, procediendo luego a colocar las dos placas semicirculares con orificio central , el tapón para el cuello del frasco de destilación y el termómetro. Este termómetro debe penetrar hasta que el bulbo esté ubicado 6.4 mm sobre el fondo del frasco.

8.4 Hacer circular el agua a través del condensador.

8.5 Iniciar la aplicación de calor de tal forma que la primera gota de destilado, caiga dentro de los 5 a 15 min. de haberse iniciado el proceso de calentamiento. Anotar la temperatura a la cual cae la primera gota y designarla como PIE (Punto Inicial de Ebullición).

8.6 A partir del PIE, se debe controlar el goteo, adaptándolo a los siguientes rangos:

50 a 70 gotas/min	PIE - 260°C
20 a 70 gotas/min	260° - 316°C

No deben transcurrir más de 10 min. para completar la destilación desde los 316°C hasta los 360°C.

8.7 Controlar los volúmenes destilados a las temperaturas de especificadas en la TABLA 26.1 según la altura sobre el nivel del mar a que se encuentre el sitio del laboratorio.

8.8 Dejar enfriar el residuo, lo suficiente para evitar que durante el vaciado de este, dentro de los recipientes metálicos, se produzcan humos que puedan ser inhalados por el operador del ensayo.

NOTA 1: Este residuo servirá para determinar las propiedades indicadas en los estándares ASTM o AASHTO, los cuales se presentan en este Capítulo como TABLAS ANEXAS.

TABLA 26.1 Corrección de las temperaturas de control, durante el destilado de asfaltos líquidos, según la posición del laboratorio respecto al nivel del mar(msnv).

Elevación sobre nivel del mar, ft (m)	Corrección de las temperaturas de control según la altitud del sitio del laboratorio, °C				
−1000 (−305)	192	227	363	318	362
−500 (−152)	191	226	261	317	361
0 (0)	190	225	260	316	360
500 (152)	189	224	259	315	359
1000 (305)	189	224	258	314	358
1500 (457)	188	223	258	313	357
2000 (610)	187	222	257	312	356
2500 (762)	186	221	256	312	355
3000 (914)	186	220	255	311	354
3500 (1067)	185	220	254	310	353
4000 (1219)	184	219	254	309	352
4500 (1372)	184	218	253	308	351
5000 (1524)	183	218	252	307	350
5500 (1676)	182	217	251	306	349
6000 (1829)	182	216	250	305	349
6500 (1981)	181	215	250	305	348
7000 (2134)	180	215	249	304	347
7500 (2286)	180	214	248	303	346
8000 (2438)	179	213	248	302	345

NOTA 2 : Debe evitarse que el operador del ensayo inhale los vapores que se desprenden del resíduo destilado, durante el vaciado de éste a los recipientes metálicos preparados para ensayos posteriores.

8.9 Determinar el VOLUMEN y PESO DEL DESTILADO, anotando estos valores como TD y PD, respectivamente.

8.10 Determinar el PESO DEL RESIDUO ASFALTICO, anotando este valor como W2.

9. CALCULOS

9.1 El Residuo Asfáltico se calcula mediante la siguiente ecuación :

$$R = \frac{V1 - TD}{V1} \times 100 \qquad \text{(Ec. 26.1)}$$

Donde :

R = Porcentaje de Residuo obtenido de la destilación.
TD = Volumen total destilado hasta 360°C, ml

9.2 El Total Destilado, se calcula mediante la siguiente ecuación :

$$TD\% = \frac{TD}{V1} \times 100 \qquad \text{(Ec. 26.2)}$$

9.3 Determinar el Peso Específico del solvente, a través de la siguiente ecuación:

$$PEsolv. = \frac{PD}{TD} \qquad \text{(Ec. 26.3)}$$

Donde : PD = Peso Destilado, g

9.4 Determinar el Tipo de Solvente, confrontando el valor obtenido de la Ec. 26.3 con lo de la TABLA 26.1

TABLA 26.1 Pesos Específico de los tipos de solventes utilizados para la formación de Asfaltos Líquidos. Fuente : MS-4, 1978, Instituto Norteamericano del Asfalto.

SOLVENTE	PESO ESPECIFICO (g/cm3)
Gasolina	0.70 - 0.75
Kerosene	0.78 - 0.82
Diesel	0.83 - 0.85

NOTA 2 : Si el solvente encontrado es gasolina, el material ensayado es un RC
Si el solvente encontrado es Kerosene, el material ensayado es un MC
Si el solvente encontrado es Diesel, el material ensayado es un SC

10. INFORME

El informe deberá incluir los siguientes aspectos :

10.1 Identificación de campo del material.

10.2 Tipo de solvente destilado.

10.3 Porcentaje de Residuo Asfáltico

10.4 Porcentaje de Solvente.

10.5 Tipo de asfalto determinado, de acuerdo a la confrontación con las TABLAS ANEXAS.

10.6 Volúmenes de solvente, obtenidos a las temperaturas indicadas en la TABLA 26.1, según los msnm, del sitio de ubicación del laboratorio.

11. COMENTARIOS

11.1 Del proceso de ensayo

a. Si se dificulta la recolección del destilado, a causa de su volatilidad, deberá usarse una probeta graduada con aproximación de 0.1 ml. e inmersa en un baño de agua, con una temperatura constante de 15.6±33°C(60 ±5°F), teniendo especial cuidado que la boquilla del goteo, quede introducida por lo menos 2 cm dentro de la probeta en la que se recibirá el solvente destilado..

b. Algunos asfaltos Líquidos no logran destilar o destilan muy poco al llegar la temperatura a los 316°C. En estos casos es impráctico mantener la destilación por encima de este valor, por lo cual, no deberán permitirse incrementos de temperatura superiores a los 5°C/min.

c. Durante la destilación debe tenerse cuidado de que el tubo condensador se mantenga completamente lleno de agua.

d. Durante la determinación del Peso Específico del solvente, deberá medirse el volumen dentro de la misma probeta, en que fue recibido durante la destilación.

e. El cuello del frasco de destilación no debe tener asfalto adherido. Esto puede suceder durante el vaciado del asfalto dentro del mismo.

11.2 De la utilidad del Ensayo de Destilación

a. Cuando se quiere determinar si el material asfáltico, cumple con lo que se ha ofertado en un proyecto de carreteras, deberá de realizarse una destilación a fin encontrar el tipo de solvente que posee éste.

b. La determinación de la cantidad de solvente presente en un asfalto líquido, debe realizarse siempre que el contratista cambie, la fuente de abastecimiento del mismo. Cantidades excesivas de solvente, pueden modificar significativamente el tiempo de curado de una mezcla asfáltica en frió.

c. Conjuntamente con el ensayo de Viscosidad, el de Destilación sirve para poder identificar un material asfáltico, ya que a través de este, se determinan los porcentaje relativos de los componentes del asfalto líquido (base asfáltica y solvente).

ENSAYO N°27 CARGA DE LAS PARTICULAS DE EMULSIONES ASFALTICAS

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo es utilizado para identificar la carga eléctrica (o polaridad) de las partículas de asfalto (glóbulos de asfalto) que constituyen a una emulsión asfáltica. Si la carga eléctrica de las partículas resulta ser positiva, la emulsión será Catiónica, si la carga de las mismas resulta ser negativa, la emulsión será Aniónica.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 6 - 80	Perdida por calentamiento de productos asfálticos
D 70-82	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos
D 140-87	Muestreo de materiales bituminosos
D 977-80	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas
D 2397-84	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 40-93	Muestreo de materiales bituminosos
T 228-93	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos

3. RESUMEN DEL METODO

Dentro de una muestra de emulsión asfáltica se introducen dos electrodos, a través de los cuales se hace circular una corriente eléctrica directa controlada. Debido a la circulación de la corriente eléctrica, un electrodo se CARGA POSITIVAMENTE, constituyéndose como el ANODO (+), mientras que el otro se CARGA NEGATIVAMENTE, constituyendo el CATODO(-), . Al final de un período de tiempo, se observa sobre cual de los dos polos, han emigrado las partículas de asfalto, si emigran hacia el ANODO es porque tienen carga negativa, entonces la emulsión asfáltica será ANIONICA, de lo contrario, si emigran hacia el CATODO, es porque tienen carga positiva, entonces la emulsión será CATIONICA.

4. SIGNIFICADO Y USO

El exito en la convinación agregado-emulsión depende en gran medida de la carga eléctrica de las partículas de asfalto y del agregado. La probabilidad de lograr una buena adhesión agregado-emulsión, se ve disminuida si estos poseen cargas de igual signo, por el contrario, si estas cargas son de diferentes signo, esta posibilidad será mayor. Por lo tanto este ensayo es usado para determinar la carga eléctrica de las partículas de asfalto, es decir, determinar el tipo de emulsión asfáltica, para así prever problemas posteriores de adhesividad agregado-emulsión.

5. DEFINICIONES

5.1 EMULSION ANIONICA

Es el tipo de emulsión en la cual el emulsificador establece una carga predominantemente negativa, sobre la fase discontinua (asfalto), de la emulsión asfáltica.

5.2 EMULSION CATIONICA

Es el tipo de emulsión en la cual el emulsificador establece una carga predominantemente positiva sobre la fase discontinua (asfalto), de una emulsión asfáltica.

5.3 EMULSIFICADOR

Es un agente químico, con propiedades de agente activador de superficies, el cual determinará si una emulsión será clasificada como Aniónica, Catiónica o Nonionica y cuya función es mantener en una suspensión estable a los glóbulos de asfalto controlando así su tiempo de ruptura.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Fuente de corriente eléctrica de 12 V cd, provisto de una resistencia variable

6.2 Un miliamperímetro cuyo circuito eléctrico se muestra en la FIG. 27.1

6.3 Dos electrodos, cada uno en forma de placa, de acero inoxidable, de 1" por 4", aislados paralelamente uno del otro.

6.4 Soporte universal con mariposa sujetadora..

6.5 Varilla cuadrada aisladora (no conductora de electricidad) de 1/2" de espesor.

6.6 Beakers de 500 ml y otro de 250 ml

6.7 Agitador de vidrio.

6.8 Baño de agua, capaz de mantener la temperatura de la emulsión a 50 ± 3 °C (122 ± 5°F).

6.9 Termómetro con capacidad para 100°C(212°F)

6.10 Un cronómetro

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Elegir una muestra de ensayo representativa de tal forma que su volumen sea más o menos igual a las 3/4 partes de la capacidad del beaker de 500 ml. Para esto recomienda homogenizar lo mejor posible la muestra de campo.

7.2 Disponer los electrodos paralelos y conectarlos al Tester de Carga, en la forma mostrada en la FIG. 27.2

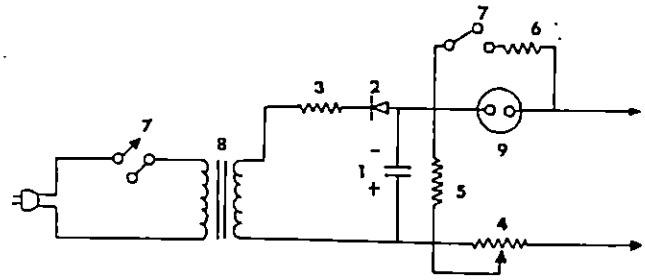
7.3 Calentar la muestra de ensayo, hasta los 122 ± 5°F (50 ±3°C) dentro del baño de agua, cuya temperatura sea 160 ± 5°F (71 ± 3°C) . Remueva completamente la emulsión para asegurar que su temperatura sea homogénea.

7.4 Vaciar de esta muestra calentada, la porción a ser ensayada dentro del beaker de 250 ml, de tal forma de permitir que los electrodos queden inmersos en esta, en por lo menos 1 pul.

7.5 Se conecta la corriente eléctrica, se mueve el botón de ajuste para lograr una intensidad de corriente igual a 8 mA (miliAmpérios) y en ese momento se acciona el cronómetro

7.6 Cuando han transcurrido 30 min. de aplicación de corriente o bien cuando se reduzca la intensidad de la misma a 2 mA, se acciona el interruptor, se desconectan los electrodos, se retiran de la emulsión y se enjugan con agua potable.

7.7 Normalmente después de este proceso se habrá adherido una capa de asfalto en uno de los electrodos; de no ser así, se repetirán en la misma muestra los pasos 7.5 y 7.6, aplicando una mayor intensidad de corriente, sin rebasar la capacidad máxima del miliamperímetro, para lograr que las partículas de asfalto se adhieran a uno de los electrodos.



1– CONDENSADOR DE 500 MICROFARADIOS Y 25 VOLTIOS
2– DIODO DE SILICON
3– RESISTENCIA DE 47 OHMIOS, 1 VATIO
4– POTENCIOMETRO DE 500 OHMIOS
5– RESISTENCIA DE 6800 OHMIOS, 0.25 VATIOS
6– MEDIDOR DE DERIVACION
7– INTERRUPTOR DE 2 POLOS Y 3 POSICIONES
8– FILAMENTO TRANSFORMADOR DE 12.6 VATIOS
9– MILIAMPERIMETRO DE 0 A 10 MILIAMPERIOS

FIG. 27.1 Diagrama eléctrico del miliamperímetro utilizado en la determinación de la carga eléctrica en las emulsiones asfálticas.

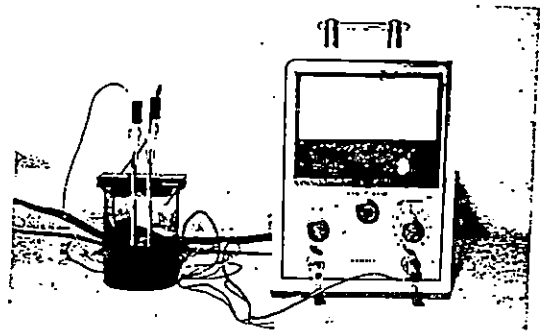


FIG. 27.2 Disposición de los electrodos y el Tester de Carga durante el ensayo de carga en las emulsiones asfálticas. Los electrodos no deben tocar las paredes ni el fondo del beaker.

7.8 Se observa en cual de los electrodos se encuentra adherido el asfalto: las emulsiones Aniónicas depositan una capa apreciable de asfalto sobre el ánodo o electrodo positivo, mientras que el cátodo o electrodo negativo se conserva relativamente limpio, lo contrario ocurre con las emulsiones Catiónicas.

8 CALCULOS

NOTA 1 : Este es un ensayo que no requiere de cálculos numéricos.

9. INFORME

El informe debe incluir la siguiente información :

9.1 Datos generales de identificación de la emulsión ensayada.
9.2 El nivel de corriente eléctrica usado para lograr la adherencia.
9.3 El tipo de emulsión determinada.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Debe tenerse cuidado de mantener la temperatura del agua como la de la muestra de emulsión, dentro de los rangos especificados en el procedimiento.

b. La separación entre los electrodos debe ser de por 2.0 cm, o acomodarlos diametralmente sin que estos toquen la paredes ni el fondo del beaker que los contiene.

c. Es importante asegurarse antes de realizar el ensayo, que los electrodos no contengan ninguna película de material grasoso o de polvo, ya que esto podría afectar el resultado del ensayo.

10.2 De la utilidad del ensayo de Carga Eléctrica.

a. En las mezclas asfálticas emulsificadas, debe tenerse cuidado especial en adecuar la emulsión asfáltica indicada para cada tipo de agregado, ya que una incompatibilidad en este sentido, alteraría grandemente la adherencia asfalto-agregado, lo cual traería como consecuencia, la formación de grietas por fatiga (piel de cocodrilo) en la superficie asfáltica colocada.

b. Generalmente este ensayo es utilizado para identificación de emulsiones, tanto para comprobar lo ofertado por el productor como para verificar que el contratista aplique el tipo de emulsión que se ha contractuado.

ENSAYO N°28 DESTILACION DE EMULSIONES ASFALTICAS

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo cubre la determinación cuantitativa del residuo por destilación, en emulsiones asfálticas, compuestas principalmente de una base asfáltica líquida o semisólida, agua y un agente emulsificador.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 5 - 86	Penetración de Cementos Asfálticos
D 6 - 80	Perdida por calentamiento de productos asfálticos
D 70-82	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos
D 86-78	Destilación de productos de petróleo
D 88-81(87)	Viscosidad Saybolt Furol
D 113-86	Ductilidad de materiales asfálticos semisólidos
D 139-90	Flotación de materiales bituminosos
D 140-87	Muestreo de materiales bituminosos
D 977-80	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas
D 2042-85	Solubilidad de materiales bituminosos
D 2397-84	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 40-93	Muestreo de materiales bituminosos
T 44-93	Solubilidad de materiales bituminosos
T 49-93	Penetración de Cementos Asfálticos
T 50-93	Flotación de materiales bituminosos
T 51-93	Ductilidad de materiales bituminosos
T 72-90	Viscosidad Saybolt furol
T 115-84	Destilación de productos de petróleo
T 228-93	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos

3. RESUMEN DEL METODO

Una muestra de aproximadamente 200 g. es colocada dentro de un alambique de aluminio, dentro del cual se instalan dos termómetros a diferentes profundidades (superior e inferior), para controlar las temperaturas durante el proceso de destilado, el cual debe tener una duración total de una hora aproximadamente.

4. SIGNIFICADO Y USO

Destilar una emulsión asfáltica, significa intentar separar la base asfáltica (Cemento Asfáltico en principio), del solvente que la mantiene en suspensión.

Las propiedades del residuo después de la destilación no son necesariamente las del Cemento Asfáltico usado en la mezcla original, ni tampoco las del residuo que ha quedado en la mezcla preparada con la emulsión asfáltica, cierto tiempo después de su colocación. De aquí que el uso principal de este ensayo de laboratorio, sea el de separar ambos elementos, Residuo y Solvente, con el fin de conocer las propiedades que el primero posee en un momento dado. Esto permitirá entonces el conocimiento de aquellas propiedades que rigen la calidad de un producto asfáltico de esta naturaleza.

Este ensayo también puede ser utilizado para identificar si la emulsión asfáltica corresponde realmente a la identificación de campo hecha para la misma.

5. DEFINICIONES

5.1 RESIDUO ASFALTICO

Es un material , color negro o café marrón, obtenido directamente de la torre de destilación del petróleo, dentro de la cual se separa de los solventes volátiles, para proporcionarle la consistencia semisólida, que lo vuelve un material adecuado para pavimentación.

5.2 EMULSIFICADOR

Es un agente químico, con propiedades de agente activador de superficies, el cual determinará si una emulsión será clasificada como Aniónica, Catiónica o Nonionica y cuya función es mantener en una suspensión estable a los glóbulos de asfalto controlando así su tiempo de ruptura.

6. EQUIPO

6.1 Alambique de aluminio, según dimensiones mostradas en la FIG. 28.1

6.2 Aparato con conexiones, según se muestran en la FIG. 28.2

6.3 Probeta graduada de 100 ml de capacidad

6.4 Balanza con capacidad de 3500 g. y aproximación de 0.1 g.

6.5 Termómetros con capacidad para 400°C

6.6 Guantes de asbesto

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Realizar el montaje del equipo, según las medidas en la FIG. 28.2

7.2 Pesar 200 ± 0.1 g. de una muestra representativa de emulsión alfáltica, dentro del conjunto (alambique-tapadera-termómetros-sujetador-tapones perforados-empaque de cartón aceitado). Anotarlo como P1.

7.3 Colocar el alambique con su tapadera y sujetador en la posición indicada en la FIG. 28.2. Asegurarse que el empaque aceitado quede presionado adecuadamente entre la tapadera y la parte superior del alambique.

7.4 Ajustar los termómetros y el mechero circular a las profundidades indicadas en la FIG. 28.2

7.5 Aplicar calor mediante el mechero circular ajustando la flama a una intensidad baja. Además debe de aplicarse el suficiente calor, al tubo plástico que conecta al condensador con el tubo de vidrio conectado al alambique, con el fin de evitar que el agua se condense en dicho tubo plástico.

7.6 Mover el mechero circular, aproximadamente horizontal, hacia el fondo del alambique, cuando la temperatura del termómetro más bajo, indique los 215°C (420°F). Incrementar la temperatura a 260±5°C, manteniéndola por un período de 15 minutos.

7.7 Completar la destilación total en 60 ± 15 min. desde la aplicación del calor.

7.8 Una vez terminado el período de calentamiento, se desmonta el conjunto mencionado en el paso 7.2 y pesarlo nuevamente. Anotarlo como P2.

7.9 Anotar el volumen total destilado y el volumen de aceite destilado.

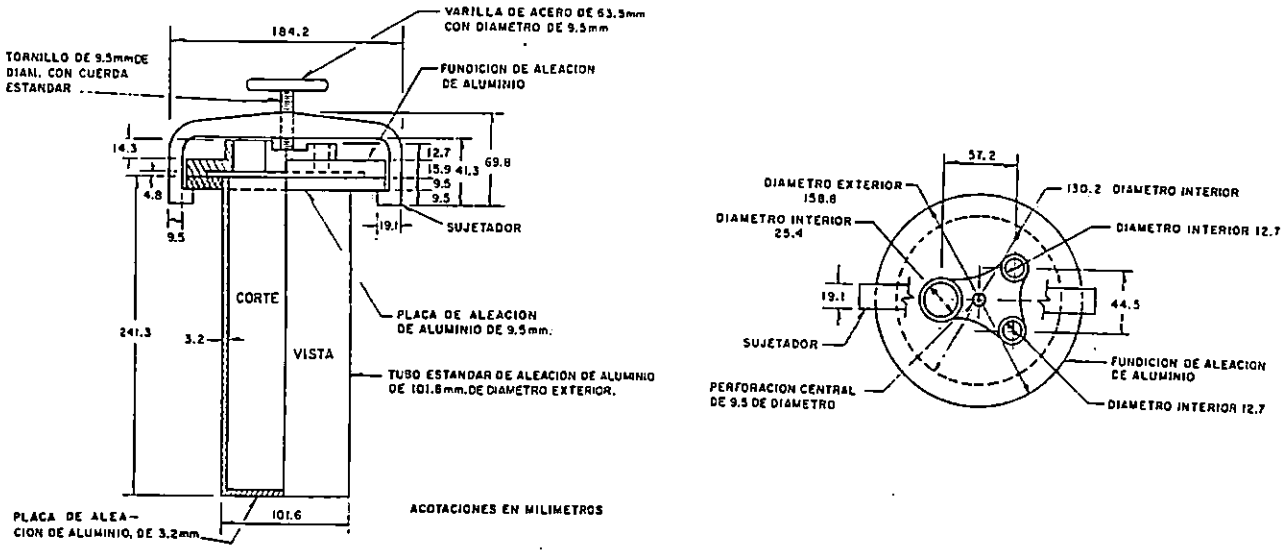


FIG. 28.1 Alambique de aluminio para destilación de emulsiones asfálticas

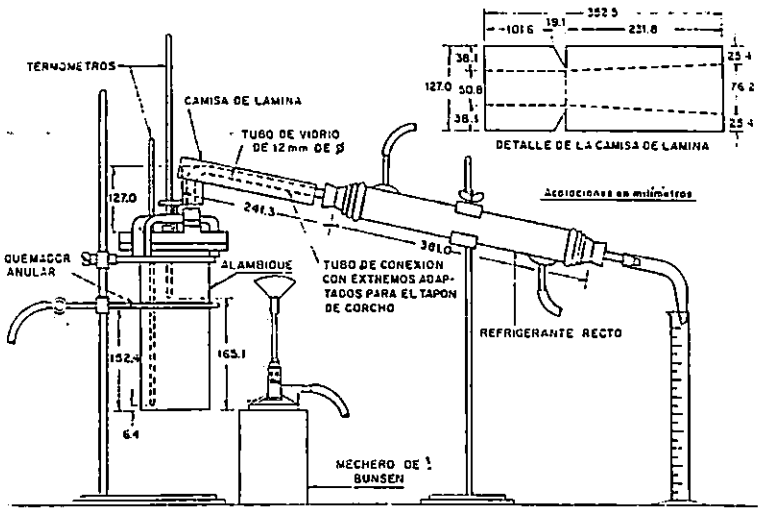


FIG. 28.2 Montaje de equipo para destilación de emulsiones asfálticas

7.10 Desmontar los termómetros, el sujetador, la tapadera y el empaque de este conjunto y proceder a vaciar el residuo de la destilación dentro de los recipientes necesarios para la realización de ensayos posteriores sobre éste.

8. CALCULOS

Los cálculos que se incluyen en este ensayo son:

8.1 Peso específico de la Emulsión Asfáltica.

8.2 Volumen Inicial de la muestra de emulsión ensayada, correspondiente a su peso inicial, (utilizar la Gravedad Específica para tal fin).

8.3 Porcentaje de Resíduo, Solvente Total y Aceite destilado respecto al volumen inicial de la muestra.

9. INFORME

El informe debe contener la siguiente información :

9.1 Información general sobre la identificación de campo de la emulsión
9.2 Porcentajes de Residuo, Solvente Total y Porcentaje de Aceite destilado, calculados respecto del volumen inicial de la muestra.
9.3 Si se registró destilado de solventes distintos al agua, habrá que reportarlos en cantidad (cm3) y tipo de solvente adicional encontrado.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. La localización del mechero al inicio del ensayo es flexible. Este puede ser elevado hasta la mitad del alambique, para disminuir la posibilidad de formación de espuma en la parte superior o baja del mismo cuando las emulsiones no contienen solventes.

b. Un cambio brusco de la lectura de temperatura en el termómetro superior indica que se ha formado espuma sobre el bulbo del mismo.

c. Todo el proceso de destilado no debe durar más de 1hora 15min. Si las temperaturas de los termómetros no han indicado las del procedimiento, se puede suspender el destilado únicamente si se observa que el goteo es de 2 a 3 gotas por minuto.

10.2 De la utilidad del Ensayo de Destilación de Emulsiones Asfálticas

a. Al igual que la destilación de Cut-Back, este ensayo nos permitirá determinar cuales son las propiedades del residuo asfáltico que compone la emulsión utilizada. Así, este ensayo es básico para conocer otras propiedades de la base asfáltica de la emulsión tales como, penetración, ductilidad, solubilidad, porcentajes relativos de solvente y base asfáltica y otros.

b. Los porcentajes relativos de solvente (agua) y base asfáltica de una emulsión, son un parámetro de la calidad de las emulsiones, ya que un porcentaje elevado de agua en la emulsión puede dar lugar a la elaboración de mezclas asfálticas saturadas, las cuales son difíciles de colocar debido a que durante su compactación, una buena proporción de la energía aplicada, es absorbida por el exceso de agua presente en la mezcla. Por otro lado, el curado de estas mezclas con exceso de agua en la emulsión, suele retardarse más de lo normal (± 1 hora).

ENSAYO N°29 ENSAYOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANALISIS DE EMULSIONES ASFALTICAS (ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACION).

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo comprende los ensayos necesarios para complementar la identificación de una Emulsión Catiónica o Aniónica, de acuerdo a los requerimientos mas importantes según las Especificaciones ASTM D 977-86, D 2397-85, AASHTO M 140-88 y M 208-87.

Estos ensayos complementarios son la Penetración, Ductilidad y la Solubilidad en Trichloroethyleno, del residuo asfáltico resultante del ensayo de Destilación de las mismas.

2. DOCUMENTOS APLICABLES

NOTA 1: Estos documentos son los considerados como Documentos Afines, en los ensayos anteriormente mencionados.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Del Residuo Asfáltico que se obtiene en la Destilación, se procede a vaciarlo en un recipiente de los especificados para la Penetración de Cementos Asfálticos y en los moldes para la realización de la Ductilidad de los mismos. La muestra para la realización del ensayo de Solubilidad se podra tomar de la muestra ensayada a la Penetración.

NOTA 2 : Los procedimientos concernientes a estos ensayos son los mismos desarrollados para los Cementos Asfálticos. Estos han sido desarrollados en este Manual como Ensayos Nos. 18, 20 y 23, de este Manual.

4. CALCULOS

NOTA3 : Se realizaran todos los cálculos relativos a los ensayos mencionados.

5. INFORME

El informe deberá incluir todos los aspectos concernientes a los ensayos de Gravedad Específica, Viscosidad a 25°C y 50°C, Destilación, Estabilidad al Almacenamiento por 24 h, Carga Eléctrica y Retenido en malla N°20, de Emulsiones Asfálticas, en adición a los ensayos de Penetración, Ductilidad y Solubilidad del Residuo de la Destilación de las mismas.

6. COMENTARIOS

NOTA 4 : Los comentarios relativos a cada uno de estos ensayos, han sido hechos en el desarrollo de los mismos.

ENSAYO N°30 ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE EMULSIONES ASFALTICAS

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCES

Mediante este ensayo se determina el grado de homogeneidad que conservan las Emulsiones Asfálticas, durante períodos de almacenamiento prolongado.

Este método es aplicable a Emulsiones Asfálticas compuestas principalmente por una base asfáltica líquida o semisólida, agua y un agente emulsificador.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 5 - 86	Penetración de Cementos Asfálticos
D 6 - 80	Perdida por calentamiento de productos asfálticos
D 70-82	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos
D 86-78	Destilación de productos de petroleo
D 88-81(87)	Viscosidad Saybolt Furol
D 113-86	Ductilidad de materiales asfálticos semisólidos
D 139-90	Flotación de materiales bituminosos
D 140-87	Muestreo de materiales bituminosos
D 977-80	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas
D 2042-85	Solubilidad de materiales bituminosos
D 2397-84	Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 40-93	Muestreo de materiales bituminosos
T 44-93	Solubilidad de materiales bituminosos
T 49-93	Penetración de Cementos Asfálticos
T 50-93	Flotación de materiales bituminosos
T 51-93	Ductilidad de materiales bituminosos
T 72-90	Viscosidad Saybolt furol
T 115-84	Destilación de productos de petróleo
T 228-93	Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos

3. RESUMEN DEL METODO

El ensayo consiste en dejar en reposo dos muestras de emulsión, para después de un tiempo especificado, determinar la diferencia de concentración de asfalto que presenten a diferentes niveles.

Se determina la diferencia en residuo porcentual, de muestras que son tomadas de la parte superior e inferior de un material inalterado, depositado en un almacenamiento simulado por 24 h. El resultado es expresado como el promedio de dos valores individuales, los cuales se determinan mediante la diferencia, entre los residuos porcentuales de las muestras superior e inferior de cada cilindro de almacenamiento.

4. SIGNIFICADO Y USO

La Estabilidad al Almacenamiento es una medida de la capacidad que tiene una emulsión, en mantener su dispersión en relación al tiempo de almacenamiento, no así en relación a otros aspectos que involucra la estabilidad de la misma durante su uso.

Un mal almacenamiento puede causar una ruptura prematura en la emulsión asfáltica, lo cual es suficiente para no poderla utilizar durante un proceso de pavimentación.

Este método de ensayo es muy usado para la determinación, en un tiempo relativamente corto, de la estabilidad al almacenamiento en una Emulsión Asfáltica.

El almacenamiento de una emulsión asfáltica, debe hacerse bajo condiciones controladas de temperatura, por lo que para cada tipo de emulsión, existirá una temperatura de almacenaje adecuada, para evitar la perdida de suspensión en la base asfáltica (Ver TABLA 30.1)

TABLA 30.1 Temperaturas de almacenamiento, según el tipo de emulsión asfáltica. Fuente: MS - 19, Instituto Norteamericano del Asfalto. Manual Básico de Emulsiones Asfálticas

TIPO DE EMULSION	TEMP.°C(°F)	
	min.	Max.
RS - 1	20 (70)	60(140)
RS - 2, CRS - 1, CRS - 2	50(125)	85(185)
SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-1h, MS-1, HFMS-1	10(50)	60(140)
CMS-2, CMS-2h, MS-2, MS-2h, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s	50(125)	85(185)

5. DEFINICIONES

5.1 ALMACENAMIENTO

Es la actividad mediante la cual se procede a almacenar una emulsión asfáltica, por un período de tiempo dado, proveyéndola de una temperatura de almacenamiento, la cual estará dada según el tipo de emulsión a almacenar.

5.2 ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO

Es la habilidad que tiene una emulsión asfáltica de mantener dispersos por un tiempo determinado, los pequeños glóbulos de cemento asfáltico, dentro de la mezcla agua-emulsificador.

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

6.1 Dos probetas de vidrio, de base ensanchada, provistas de tapón de corcho o de vidrio, con diámetro exterior de 50 ± 5 mm y capacidad de 500 ml.

6.2 Una pipeta de vidrio de 60 ml de capacidad.

6.3 Una balanza con capacidad para 500 g y aproximación de 0.5 g.

6.4 Cuatro beaker tipo Pyrex : 2 de 1000 ml y dos de 500 ml

6.5 Dos agitadores de vidrio.

6.6 Horno con capacidad para 200°C

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Obtener una muestra representativa de campo, teniendo los cuidados que para ello se indican en la especificación ASTM D 140-87 (T 40-93). Como aspectos generales pueden mencionarse :

7.1.1 Un mínimo de tres posiciones del almacenamiento para conformarla.

7.1.2 La temperatura de muestreo debe ser la que tiene el material en el sitio

7.1.3 La identificación debe hacerse tomando en cuenta aspectos como hora de muestreo, profundidad de la toma de las muestras parciales, temperatura de muestreo.

7.2 Obtener una muestra de ensayo representativa(debidamente homogeneizada), con una temperatura entre 21 a 27°C (70 a 80°F).

7.3 Verter 500 ml en cada una de las probetas, taparlas y colocarlas en un lugar libre de vibraciones, por un período de 24 h.

7.4 Transcurrido este período de reposo y utilizando la pipeta graduada, se extraen de la parte superior 55 ml de cada una de las muestras contenidas en las probetas, cuidando de no perturbar el resto del contenido de las mismas. Estas porciones se depositan cada una en un beaker 500 ml. previamente pesados; se homogenizan utilizando el agitador de vidrio y se ajusta su peso para que cada porción sea de 50 ± 1 g (MUESTRAS SUPERIORES).

7.5 Ajustar la temperatura del horno a 163 ±2.8°C(325 ±5 °F) y colocar dentro de éste, cada beaker conteniendo el agitador y la muestra, por 2 horas.

7.6 Cuando ha transcurrido este período de tiempo, se extraen los beakers del horno y se remueve completamente el residuo de cada uno éstos. Se colócan nuevamente dentro del horno por un período de 1 h. después del cual se sacan nuevamente, se dejan enfriar a temperatura ambiente y se pesan incluyendo los agitadores. Determinar el PORCENTAJE DE RESIDUO SUPERIOR obtenido y anotarlo como A.

7.7 Remover luego, los siguientes 390 ml de emulsión, de la parte superior de cada muestra contenida en las probetas de 1000 ml, haciendo uso de la pipeta, cuidando de no perturbar el resto del contenido de las mismas. Mezclar completamente la emulsión que ha sobrado en cada probeta y pesar dentro de los beakers de 1000 ml, 50 g, de cada una de las dos muestras sobrantes en las probetas (MUESTRAS INFERIORES).

7.8 Determinar el Residuo Asfáltico de estas últimas muestras de 50 g, procediendo de la manera descrita en los pasos 7.5 y 7.6. Determinar el PORCENTAJE DE RESIDUO INFERIOR, obtenido y anotarlo como B.

8. CALCULOS

8.1 Los PORCENTAJES DE RESIDUOS SUPERIOR e INFERIOR se calculan por diferencia de pesos, así :

$$\%R = \frac{Pim - Pfr}{Pim} \times 100 \qquad \text{(Ec.30.1)}$$

Donde :

Pim : Peso inicial de la muestra de emulsión, g
Pfr : Peso final del residuo obtenido, g

8.2 La ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO se expresa como un porcentaje y se calcula así :

% ESTABILIDAD DE ALMAC. = B - A (Ec. 30.2)

9. INFORME

Además de la información general sobre la emulsión asfáltica ensayada, se debe de incluir en el informe los PORCENTAJES DE RESIDUOS POR EVAPORACION y el PORCENTAJE DE ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Dos resultados podrán ser considerados como confiables si no varían en más del 0.5 %. De lo contrario el ensayo deberá repetirse.

b. El agitado de las muestras superiores, antes de llevarlas al horno por el período descrito, debe realizarse por no más de 4 ó 5 minutos, en forma suave y constante.

c. Durante la toma de las muestras superiores, debe tenerse cuidado que la pipeta no se introduzca más de 2 cm dentro de la emulsión.

10.2 De la utilidad del ensayo de almacenamiento de emulsiones asfálticas.

a. Todo laboratorio de Supervisión debe desarrollar este ensayo antes de autorizar la utilización de una emulsión que ha estado en almacenamiento por un período mayor de 5 a 7 días.

b. El porcentaje de estabilidad permitirá indicar si una emulsión puede ser utilizada para los fines que pretende el constructor.

c. Una emulsión inestable, no permitirá la elaboración de mezclas emulsificadas homogéneas, ya que la base asfáltica tendería a formarse en grumos durante su utilización.

ENSAYO N°31 TAMIZADO DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS UTILIZANDO LA MALLA N°20 (0.850 mm)
REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo comprende la determinación cuantitativa del material asfáltico retenido en la malla N°20, que presentan las emulsiones asfálticas.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 70-82 Gravedad específica de materiales asfálticos semisólidos
D 140-87 Muestreo de materiales bituminosos
D 977-80 Especificaciones para Emulsiones Asfálticas
D 2397-84 Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 40-93 Muestreo de materiales bituminosos
T 228-93 Gravedad Específica de materiales asfálticos semisólidos

3. RESUMEN DEL METODO

Una muestra de emulsión asfáltica de peso conocido, se hace pasar por la malla N°20, en esta se retendrá una cantidad de material asfáltico, la cual se lleva al horno por un período de dos horas, para luego determinar el porcentaje de material retenido en dicha malla.

4. SIGNIFICADO Y USO.

Algunas veces durante la fabricación o el almacenamiento de las emulsiones asfálticas, se producen glóbulos de asfalto, relativamente grandes, los cuales demuestran que la misma no presenta una suspención homogénea. Estos glóbulos pueden obstruir el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre los agregados pétreos, con los cuales se combinará. Además de que el tamaño de los glóbulos, indica una buena o mala

estabilidad de la emulsión, para permanecer en ese estado de suspensión. Los glóbulos grandes indican que la emulsión va a tener una tendencia a sedimentarse y por lo tanto, esto puede causar su rompimiento prematuro. Por lo tanto este ensayo, puede utilizarse para estimar la uniformidad de la emulsión asfáltica a fin de prever problemas de rompimiento prematuro en la misma..

5. DEFINICIONES

5.1 GLOBULOS DE ASFALTO

Son partículas de asfalto floculadas por la falta de homogeneidad en la fase continua de la emulsión asfáltica.

6. EQUIPO

6.1 Una malla N°20, U.S. Standard, especificación ASTM E - 11, de 3" de diámetro.

6.2 Fondo para la malla de 3" de diámetro.

6.3 Balanza de 2610 g de capacidad con aproximación de 0.1g

6.4 Beaker tipo Pyrex, con capacidad de 1000 ml.

6.5 Probeta graduada de 1000 ml de capacidad.

6.6 Horno eléctrico con capacidad para 150°C

6.7 Guantes de asbesto

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Preparar una solución de oleato de sodio al 2%. Esta se prepara disolviendo dos gramos de oleato de sodio puro en cien ml de agua destilada.

7.2 Pesar la malla N°20 y el fondo, y se registra el peso de este conjunto como A , en gramos.

7.3 Se pesan 1000 g. de emulsión asfáltica debidamente homognizada, en el beaker de 1000 ml.

7.4 Humedecer la malla N°20, aplicándole una capa delgada de la solución de oleato de sodio.

7.5 Hacer pasar los 1000 g. de emulsión a través de la malla N°20. Sobre la malla se retendrán aquellos glóbulos mayores que su diámetro.

7.6 Lavar la probeta y la malla con la solución de oleato de sodio, hasta que dicha solución salga limpia.

7.7 Se inserta el fondo a la malla que contiene el retenido y se secan en el horno durante 2 h. a una temperatura de 105°C. Después de lo cual se dejan enfriar a la temperatura ambiente y se pesan anotando su peso como B, en gramos.

8. CALCULOS

En esta prueba se calcula el retenido en la malla N°20, utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A - B}{10} \qquad \text{(Ec. 2.36)}$$

9. INFORME

El informe deberá contener la información concerniente a la Identificación de la muestra, según el Proyecto en donde se está utilizando, además deberá incluirse el Porcentaje de Asfalto retenido (R), durante el ensayo.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo .

a. Debe setearse bien la temperatura del horno, de forma de no permitir temperaturas arriba de los 120°C, a fin de evitar recalentamiento en la pequeña porción de residuo asfáltico que se encuentra retenida en la malla. Temperaturas cercanas a los 90°C serán suficientes para el secado de la misma.

b. Durante el tamizado no debe de removerse con la mano la emulsión que está siendo depositada , ya que esto daría lugar a que los grumos grandes formados por floculación se desintegren y logren pasar a través de la malla.

10.2 De la utilidad del ensayo de tamizado de emulsiones asfálticas.

a. Un elevado valor de retenido indicará que la emulsión no debe utilizarse para la elaboración de mezclas asfálticas emulsificadas, ya que su base asfáltica contiene exceso de grumos que dificultarán la uniformidad de la película de asfalto que se depositará sobre los agregados pétreos.

b. Un elevado valor de retenido también es indicador de una baja estabilidad de la emulsión al almacenamiento, o también puede indicar un tiempo de almacenamiento la misma.

ENSAYO N°32 RESIDUO ASFALTICO DE UNA EMULSION OBTENIDO POR EVAPORACION

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

En este ensayo se describe el procedimiento para determinar el contenido de resíduo por evaporación en las emulsiones asfálticas o sea, la proporción de material asfáltico que se obtiene al someter a la emulsión a un proceso de evaporación en un horno.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 70 - 82 Gravedad Específica de materiales bituminosos
D 140-88 Muestreo de materiale bituminosos

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 228-93 Gravedad Específica de materiales bituminosos

3. RESUMEN DEL METODO

Tres muestras de Emulsión Asfáltica de peso conocido, son sometidas a evaporación dentro de un horno, el cual se mantiene a una temperatura constante de 163° ± 2.8°C (325 ± 5°F) durante un período inicial de 2 h, después del cual se sacan del horno, se remueven vigorosamente sus resíduos, se reintegran al horno por un nuevo período de 1 h, después del cual se sacan para dejarlas infriar a temperatura ambiente. La relación entre la diferencia de pesos del material asfáltico inicial y final, con el peso inicial de cada muestra, dará como resultado el Porcentaje de Resíduo de la emulsión asfáltica ensayada.

4. SIGNIFICADO Y USO

El ensayo indicará un valor porcentual de resíduo asfáltico. Aún cuando en general, los valores obtenidos mendiante este ensayo son más bajos que los obtenidos por el

ensayo de Destilación; pueden servir para dar una idea de las caracaterísticas de dicho resíduo. El ensayo puede ser realizado debido a dos propósitos, a saber :

4.1 Se requiere conocer un valor aproximado de la base asfáltica de una emulsión.

4.2 Se desean realizar lo más pronto posible, ensayos sobre el residuo asfáltico de la emulsión.

5. DEFINICIONES

5.1 RESIDUO ASFALTICO DE UNA EMULSION

Es el ligante asfáltico que resta después de haber evaporado el agua y los solventes que formaban originalmente parte de aquella.

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 Tres beakers tipo Pyrex o de aluminio,de 1000 ml cada uno.

6.2 Tres varillas agitadoras de vidrio con punta redonda pulida de 1/4" de diámetro y 7" de longitud.

6.3 Balanza, con capacidad para 500 g. y aproximación de 0.1 g.

6.4 Horno electrico con capacidad para 325 ± 5°F

6.5 Malla N°50 (0.300 mm)

6.6 Guantes de asbesto

6.7 Muestra representativa de emulsión asfáltica.

7. PROCEDIMIENTOS

A. PROCEDIMIENTO "A" : Utilizado cuando el propósito del ensayo es el indicado en el literal 4.1

Este procedimiento se desarrolla de la siguiente manera :

7.1 Pesar el conjunto beaker - varilla y anotar este peso como Bi, para cada beaker.

7.2 De una muestra de emulsión asfáltica representativa se pesan 50 ± 0.1 g, dentro de cada uno de los tres beakers.

7.3 Colocar cada conjunto conteniendo el peso de la emulsión, dentro del horno a una temperatura de 325 ± 5°F por 2 h.

7.4 Transcurrido este tiempo se extraen del horno para agitarlos vigorosamente, reintegrándolos al mismo por 1 h. adicional, después de lo cual se dejan enfriar a temperatura ambiente. Pesar cada beaker y anotar estos pesos como Ai.

B. PROCEDIMIENTO "B" : Utilizado cuando el propósito del ensayo es el indicado en el literal 4.2

7.5 Proceder de acuerdo al procedimiento descrito en la parte "A" (7.1 a 7.4).

7.6 Reintegrar los beakers al horno con el fin de fluidificar nuevamente cada uno de los resíduos obtenidos, de tal forma que éstos sean capaces de pasar la malla N°50 (usualmente se requieren de 15 a 30 min para esta actividad).

7.7 Luego de este período, hacer pasar cada residuo a través de la malla N°50, depositandolo en los recipientes adecuados para cada ensayo posterior.

8. CALCULOS

8.1 Calcular cada Porcentaje de Resíduo por evaporación, utilizando la siguiente ecuación :

$$\% R = \frac{(A - B)}{50} \times 100 \qquad \text{(Ec. 32.1)}$$

Donde :

A : Peso de beaker, varilla y residuo, g

B : Peso de cada conjunto beaker-varilla, g

9. INFORME

Además de la información general sobre la emulsión asfáltica ensayada, el informe deberá contener la siguiente información :

9.1 Propósito del ensayo
9.2 Método alternativo utilizado
9.3 Porcentaje de Residuo por evaporación.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Deben tomarse los cuidados pertinentes para no perder asfalto de los beakers, a causa de espumas o zalpicados o ámbos durante el calentado y agitado.

b. Tambien es permitido colocar la muestra dentro del horno, en estado frio o cálido y llevar ambos hasta la temperatura de ensayo 325°F. Este proceso conlleva un tiempo más largo que el descrito en los anterioere procedimientos.

c. Tambien es permitido, evaporar previamente el agua de la emulsión, a través de un calentamiento cuidadoso, utilizando un HOT PLATE, seguido de 1 h. de tratamiento dentro del horno a la temperatura de ensayo.

d. Como este método de ensayo tiende a dar un residuo asfáltico bajo en penetración y ductilidad, en relación a lo obtenido por el método de Destilación, el material podrá ser aceptado y no podrá ser rechazado como de mala calidad, cuando se confronten los resultados con los requerimientos de las especificiones dadas para resultados obtenidos por el ensayo de Destilación.

e. Si el residuo por evaporación resulta no cumplir los requerimientos para residuos por destilación, el ensayo de obtención del residuo deberá ser corrido utilizando destilación.

10.2 De la utilidad del ensayo de Residuo por Evaporación.

a. El valor del residuo obtenido por evaporación nos permite estimar en forma rápida los porcentajes relativos de solvente y base asfáltica que constituyen una emulsión asfáltica. Este dato es muy importante cuando durante la aplicación de una emulsión se tiene duda sobre la calidad de la misma. En estos casos el supervisor

deberá suspender la actividad de aplicación de esta emulsión, hasta no tener un resultado que permita decidir sobre la aplicación de la misma. Este caso puede darse durante las actividades de reciclado de pavimentos existentes, en donde la emulsión es aplicada in-situ, durante la actividad corte de la carpeta asfáltica existente.

ENSAYO N°33 HABILIDAD PARA EL RECUBRIMIENTO DE AGREGADOS Y RESISTENCIA AL LAVADO DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS.

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo cubre la determinación de la habilidad de una emulsión asfáltica para

1.1 cubrir totalmente un agregado,

1.2 mantenerse en la mezcla, mientras el remanente (Cemento Asfáltico) se recubre a los agregados,

1.3 resistir la acción del lavado con agua después de completar el mezclado.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 150-92	Especificación para Cemento Portland
C 190-85	Ensayo a la tensión de morteros de cemento Hidráulico
D 70 - 82	Gravedad Específica de materiales bituminosos
D 140-88	Muestreo de materiales bituminosos

2.2 ESTANDARES AASHTO

M 85-93	Especificación para Cemento Portland
T 132-87	Ensayo a la tensión de morteros de cemento Hidráulico
T 228-93	Gravedad Específica de materiales bituminosos

3. RESUMEN DEL METODO

Se somete una mezcla de emulsión- material pétreo, preferentemente de origen calizo, preparado bajo ciertas condiciones, en húmedo o seco al medio ambiente, a un proceso de lavado con agua, después del cual se puede estimar el cubrimiento final que el asfalto ha realizado sobre el material pétreo.

4. SIGNIFICADO Y USO

Este ensayo es una ayuda para la identificación de las emulsiones asfálticas apropiadas para mezclarse con agregados gruesos calcáreos (agregados con caliza) o de otros orígenes. Este ensayo se puede aplicar tanto a materiales pétreos secos como húmedos, además sirve para estimar las características de estabilidad de las emulsiones asfálticas durante el proceso de mezclado, durante la elaboración de las mezclas a las cuales pertenecen.

Esta estabilidad se relaciona con la facilidad de incorporación de la emulsión al material pétreo, cuando lo cubre formando una película asfáltica resistente durante el mezclado, y con la resistencia a la acción del lavado con agua, una vez formada la mezcla.

5. DEFINICIONES

5.1 RECUBRIMIENTO

Habilidad de las asfaltos líquidos dentro de las mezclas asfálticas, para formar una capa de asfalto residual resistente, al rededor de los agregados una vez terminado el proceso de mezclado.

5.2 RESISTENCIA AL LAVADO

Capacidad que tienen los asfaltos líquidos, de depositar una capa de asfalto residual adherida a los agregados, la cual es dificilmente desprendible por la acción del agua.

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 Charola mezcladora de 3 lt de capacidad

6.2 Espátula mezcladora con hoja de 3 1/2" de longitud.

6.3 Malla 3/4" y N°4.

6.4 Dispositivo de carga constante de agua (ver FIG. 2.28)

6.5 Termómetro con capacidad para 80°C (180°F).

6.6 Balanza con capacidad para 1000 g. y aproximación de 0.1 g.

6.7 Pipeta de 10 ml. de capacidad.

6.8 Agregados lavados en laboratorio con graduación pasando la malla 3/4" y retenido sobre la malla N°4.

6.9 Carbonato de Calcio, grado químico ($CaCO_3$), el cual puede ser mezclado como polvo con los agregados mencionados en 6.8.

6.10 Emulsión, deberá ser representativa.

7. PROCEDIMIENTO

A. PROCEDIMIENTO CON AGREGADOS SECOS

7.1 El ensayo se desarrolla a la temperatura de 75 ±10°F (23.9±5.5°).

7.2 Pesar 461 g. de agregados secos al aire referenciados según se describe en el literal 6.8 .

7.3 Pesar 4.0 g. de $CaCO_3$ en polvo, mezclarlos con la muestra de agregado (461.0 g), utilizando la charola mezcladora y la espátula mezcladora, removiéndolos durante 1 minuto, para obtener una película uniforme de este polvo sobre las partículas de los agregados.

NOTA 1 : El peso total de agregados más polvo de Carbonato de Calcio deberá ser igual a 465 g. Si los agregados contienen dentro de sus componentes el Carbonato de Calcio (piedra caliza), el peso de este agregado sólo deberá ser 465 g.

7.4 Pesar 35.0 g de emulsión asfáltica dentro de la charola que contiene a los agregados, y mezclar vigorosamente con la espátula por 5 min. realizando movimientos elípticos, hacia atrás y adelante con dicha espátula. Transcurrido este período, inclinar la charola para eliminar la emulsión asfáltica que no se logró mezclar con los agregados.

7.5 Colocar aproximadamente, la mitad de la mezcla elaborada sobre un papel absorbente y en estas condiciones se registra el cubrimiento del material pétreo, ESTIMÁNDOLO como un porcentaje de la superficie total del agregado sin considerar la correspondiente a los poros y a las aristas agudas.

7.6 Inmediatamente después se da un riego ligero de agua a la mezcla sobrante en la charola mezcladora , colocándolo de tal manera que la mezcla quede aproximadamente a 12 ± 3 pul (30.5 ± 7.5cm) abajo de la regadera del dispositivo de carga constante. Se abre cuidadosamente la carga de agua y se continúa la

carga de agua, vaciando el agua hasta que el agua salga limpia.
Verter la mezcla sobre un papel absorbente para evaluar el recubrimiento retenido durante el proceso de lavado.

7.7 Evaluar la mezcla inmediatamente a través de una ESTIMACION VISUAL del Area superficial total de agregados recubierta por asfalto.

7.8 Repetir la evaluación a través de la ESTIMACION VISUAL del recubrimiento del área en la superficie de los agregados, después que la mezcla ha sido secada al aire dentro del laboratorio. Un ventilador puede ser usado para realizar esta actividad.

B. PROCEDIMIENTO CON AGREGADOS HUMEDOS

7.9 Proceder de acuerdo con los pasos 7.1 a 7.3.

7.10 Con la pipeta, se agregan 9.3 ml de agua dentro de la mezcla agregados y Carbonato de Calcio, procediendo luego a homogenizar completamente esta humedad .

7.11 Continuar de acuerdo a los pasos 7.4 a 7.8

8. CALCULOS

NOTA 2 : Este ensayo no requiere de cálculos numéricos.

9. INFORME

Evaluar y reportar la siguiente información para las diferentes condiciones de ensayo :

9.1 Al final del período de mezclado, registrar el cubrimiento que la emulsión ha logrado realizar sobre el área superficial total de los agregados, anotándolo como BUENO(good), REGULAR (fair) o POBRE(poor), cuando el rango sea BUENO(good), esto significará que la emulsión logró recubrir totalmente a los agregados, excluyendo el área correspondiente a los poros y aristas agudas de los agregados. El rango de REGULAR(fair) aplicará para aquella condición en donde existe un área con exceso de recubrimiento sobre otra descubierta (el área

recubierta es mayor que el área sin recubrimiento). Por último el rango de POBRE (poor) aplicará cuando exista la condición de un área excesiva sin recubrimiento sobre otra recubierta (el área sin recubrimiento es " mucho" mayor que el área recubierta).

9.2 Después de rociar los agregado con agua, se debe registrar el recubrimiento de asfalto en el área superficial del agregado total, como BUENO (good), REGULAR (fair) o POBRE (poor).

9.3 Después de secar el agregado (en el laboratorio), se deberá registrar el recubrimiento en el área superficial del agregado total, como BUENO, REGULAR O POBRE.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Al analizar los parámetros de evaluación, puede notarse que la apresiciación del recubrimiento de asfalto puede estar influenciada por la experiencia del operador del ensayo, por lo que es recomendable disminuir esta influencia, a través de cuantificar el área de recubrimiento en base a un área delimitada (cuadrada) total, en donde se coloca la muestra a evaluar.

10.2 De la utilidad del ensayo de Recubrimiento

a. La habilidad de una emulsión asfáltica de cubrir un agregado es generalmente sensible al contenido de humedad del agregado antes de la mezcla con la emulsión asfáltica. Esto es especialmente cierto para los agregados que contienen un alto porcentaje de material que pasa la malla N°200, donde una cantidad de agua insuficiente antes de la mezcla con la emulsión, da como resultado la formación de grumos del asfalto con los finos y una cobertura insuficiente. Es por esta razón que la prueba de recubrimiento debe realizarse con diferentes contenidos de agua en el agregado. Las emulsiones asfálticas que no pasan esta prueba dejan de ser consideradas para la obra en cuestión.

ENSAYO N°34 DEMULSIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Esté ensayo cubre la determinación de la Demulsibilidad de las emulsiones asfálticas de Curado Rápido y de Curado Médio, lo cual permite estimar la facilidad con que estas rompen una vez entran en contacto con los suelos o agregados con los cuales estas se mezclan.

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

D 70 - 82 Gravedad Específica de materiales bituminosos
D 140-88 Muestreo de materiale bituminosos

2.2 ESTANDARES AASHTO

T 228-93 Gravedad Específica de materiales bituminosos

3. RESUMEN DEL METODO

Para las emulsiones Aniónicas, se mezcla cierta cantidad de una solución especificada de Cloruro de Calcio a determinada cantidad de emulsión. La mezcla se vierte sobre una malla N°14 y se lava. El grado de floculación se determina de acuerdo con el peso del asfalto que queda retenido en la malla. El Cloruro de Calcio hace coagular a las partículas de asfalto de las emulsiones Aniónicas..

La prueba de demulsibilidad que se efectúa a las emulsiones asfálticas Catiónicas, generalmente se realiza a las de rompimiento rápido, para lo cual se sigue el mismo procedimiento descrito para las emulsiones Aniónicas, excepto que se emplea una solución que se prepara disolviendo 8 g. de dioctil sulfosuccinato de sodio en 992 g de agua desmineralizada, en lugar de la solución dos centésimos normal de Cloruro de Calcio.

4. SIGNIFICADO Y USO

La prueba indica la mayor o menor rapidez con que la que los glóbulos coloidales de asfalto que forman una emulsión, tienden a agruparse entre sí, o a coagularse para extenderse en películas delgadas sobre las partículas de suelo o de agregado. Este ensayo da una idea del tiempo disponible para incorporar la emulsión durante la elaboración de las mezclas asfálticas, ya sean elaboradas estas en planta o en el sitio de su colocación.

En ambos casos de emulsiones asfálticas, el ensayo de Demulsificación se lleva a cabo a través de las sales mencionadas, las cuales realizan la función coaguladora en los glóbulos de asfalto. En cuanto más rápido es la rotura de la emulsión, la concentración de estas sales es menor, es decir, las emulsiones Aniónicas de fraguado rápido, requerirán para el ensayo, de una solución de Cloruro de Calcio, bastante diluida, mientras que las de fraguado lento, requerirán una solución más concentrada, para aligerar el rompimiento de la emulsión durante el ensayo.

5. DEFINICIONES

5.1 EMULSIFICADOR

Son ciertos productos químicos, que facilitan la formación de las dispersiones de los glóbulos de asfalto y que los mantienen en suspensión hasta que la emulsión de que forman parte, es mezclada con un material pétreo.

5.2 EMULSIFICAR UN ASFALTO

Es el fenómeno producido al convertir una masa de asfalto, en pequeños glóbulos suspendidos en agua, a través del uso de un Emulsificador que se adhiere a los mismos..

5.3 DEMULSIBILIDAD

Pérdida de la Interfase de una emulsión, seguida de una ganancia en la capacidad de Coagulación (capacidad de sedimentarse) de los glóbulos de asfalto que la constituyen.

5.4 ROMPIMIENTO DE UNA EMULSION

Es la formación de películas delgadas de asfalto sobre los agregados de la mezcla, a causa de la demulsibilidad en la emulsión asfáltica, a la cual éste pertenece.

6. EQUIPO Y MATERIALES

6.1 Tres piezas de malla de alambre, con abertura igual a la malla N°14 (1.40 mm), aproximadamente de 5" pulgadas cuadradas, sin marco.

6.2 Tres beakers de aluminio de 600 ml. de capacidad

6.3 Tres agitadores metálicos o de vidrio, con extremos aproximadamente redondos, de 5/16" de diámetro.

6.4 Una Bureta de vidrio de 50 ml de capacidad y con graduaciones de 0.1 ml.

6.5 Balanza con capacidad para 500 g. y 0.1 g. de aproximación

6.6 Solución de Cloruro de Calcio, $CaCL_2$ (1.11 g / L)
Se disuelven 1.11 g de Cloruro de Calcio en 1 L. de agua. La solución de 1.11g de Cloruro de Calcio, deberá ser estandarizada, para lograr una solución normal 0.02 N ±0.001 g de solución de Cloruro de Calcio en agua.

6.7 Solución de Cloruro de Calcio, $CaCL_2$ (5.55 g /).
Se disuelven 5.55 g de Cloruro de Calcio en 1 L. de agua. La solución de 5.55 g de Cloruro de Calcio, deberá ser estandarizada, para lograr una solución normal 0.1N ±0.001 g de solución de Cloruro de Calcio en agua.

6.8 Solución de dioctil sulfosuccinato (8 g /L)
Se disuelven 8.0 g de dioctil sulfosuccinato en 992 ml de agua.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Determinar el Porcentaje de Residuo por destilación

7.2 Registrar el peso de cada conjunto formado por beaker, varilla y pieza de malla N°14 (P1).

7.3 Adicionar 100 ±0.1 g. de emulsión asfáltica al peso de cada conjunto, beaker, varilla y pieza de malla N°14 y luego llevar la temperatura del beaker a 25 ± 0.5°C.

7.4 Durante un período de dos minutos (2), se agregan con la bureta a cada beaker, 35 ml. de solución $CaCl_2$ (1.11 g / L) para emulsiones de curado Rápido o 50 ml de solución $CaCl_2$ (5.55 g / L) para emulsiones de curado medio. Mientras se agrega la solución de $CaCl_2$, utilizando el agitador, se agita el contenido en forma contínua y vigorosa, amasando cualquier grumo que aparezca, contra la pared del beaker. Continuar el mezclado durante dos (2.0) minutos adicionales.

7.5 Se decanta el líquido de cada uno de los vasos sobre la pieza de malla correspondiente y se lavan el vaso, el agitador y el contenido de cada conjunto utilizando agua destilada, al mismo tiempo que se continúa el amasado durante esta operación, para romper todos los grumos restantes. Deberá suspenderse el lavado sólo hasta que el agua pase a través de la malla, completamente limpia.

7.6 Después de esta operación cada conjunto, se introducen al horno, a una temperatura de 163°C, y se dejan secar hasta peso constante.

8. CALCULOS

Calcular el Porcentaje de Demulsibilidad (D), usando la Ec.34.1, la cual tiene la forma siguiente :

$$\%D = \frac{A}{B} \times 100 \qquad \text{(Ec.34.1)}$$

Donde :

A : Peso promedio de la diferencia entre el peso del conjunto más emulsión menos el peso del conjunto sin emulsión.

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

9. INFORME

El informe deberá contener la información general sobre la emulsión ensayada en adición a la siguiente información :

9.1 Tipo de emulsión ensayada
9.2 Tipo de solución utilizada
9.3 Porcentaje de Solvente y Resíduo Asfáltico por destilación
9.4 Porcentaje de Demulsibilidad (%D).

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Se requiere un alto grado de demulsibilidad para el caso de las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido, ya que se espera que rompan casi inmediatamente que entran en contacto con la superficie del agregado. Por tanto, se requiere una solución muy diluída de cloruro de Calcio para la prueba de demulsibilidad, por lo tanto, se tendrá que verificar que la solución de Cloruro de Calcio, tenga la concentración adecuada para el tipo de emulsión que se está analizando.

10.2 De la utilidad del ensayo de Demulsificación

a. El resultado de este ensayo también da una idea del tiempo que una mezcla asfáltica emulsificada nueva o reciclada, necesita airearse antes de aplicarle compactación. Las mezclas compactadas antes del tiempo de ruptura de la emulsión o de la demulsificación tienden a atrapar cantidades de agua perjudiciales para la estabilidad de la mezcla colocada. La aparición de grietas sobre la superficie, desplazamientos laterales de mezcla, se darán si la compactación es realizada en estas condiciones.

En las mezclas recicladas con emulsión asfáltica es práctica normal, airear la mezcla durante un tiempo mayor al de demulsificación de la emulsión asfáltica. Normalmente un tiempo de 1 hora de aireado es necesario para iniciar el proceso de compactación. Es recomendable, además ayudar al aireado de la mezcla, utilizando una motoniveladora, teniendo cuidado que los agregados gruesos de la mezcla, no se segreguen hacia los laterales.

ENSAYO N°35 MISCIBILIDAD DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS CON CEMENTO PORTLAND.

REFERENCIAS : AASHTO T 59 - 93
ASTM D 244 - 86

1. ALCANCE

Este ensayo cubre la determinación de la miscibilidad de las emulsiones asfálticas Aniónicas y Catiónicas de rompimiento Lento(SS) con Cemento Portland Tipo III .

2. DOCUMENTOS AFINES

2.1 ESTANDARES ASTM

C 150-92	Especificación para Cemento Portland
C 190-85	Ensayo a la tensión de morteros de cemento Hidráulico
D 70 - 82	Gravedad Específica de materiales bituminosos
D 140-88	Muestreo de materiale bituminosos

2.2 ESTANDARES AASHTO

M 85-93	Especificación para Cemento Portland
T 132-87	Ensayo a la tensión de morteros de cemento Hidráulico
T 228-93	Gravedad Específica de materiales bituminosos

3. RESUMEN DEL METODO

El ensayo consiste en incorporar a la emulsión (Aniónica o Catiónica), una cantidad determinada de cemento Portland, efectuar un proceso de mezclado durante el cual se le incorpora también agua destilada y transcurrido el tiempo establecido para dicho proceso, se determina la proporción de cemento asfáltico que proviene del rompimiento de la emulsión y que queda retenido en la malla N°14 (1.40 mm).

4. SIGNIFICADO Y USO

Este ensayo permite estimar la estabilidad de las emulsiones asfálticas Aniónicas y Catiónicas, al mezclarse con materiales finos. Las emulsiones Aniónicas de curado lento

(SS) son usadas con materiales finos y agregados con polvo adherido. Estas son normalmente afectadas por la solución de Cloruro de Sodio. La reacción al mezclado con cemento Portland de las emulsiones Catiónicas es completamente diferente. Las Emulsiones Catiónicas reaccionan con el cemento Portland a causa de su área específica, particularmente las del tipo Aniónicas, reaccionan químicamente con los constituyentes del cemento Portland, formando una sal insoluble en agua.

5. EQUIPO Y MATERIAL

5.1 Mallas N°80 (0.180 mm) y N°14 (1.40 mm)
5.2 Fondo para mallas
5.3 Varilla metálica para agitado, con extremos redondos y 13 mm de diámetro.
5.4 Probeta de 100 ml de capacidad
5.5 Balanza de 2610 g. de capacidad y 0.1 g de aproximación
5.6 Recipiente metálico de 250 ml de capacidad
5.6 Cemento Portland con superficie específica de 1900 cm^2 / g.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 De una muestra representativa de emulsión asfáltica ,se toman 200 ml y se diluyen en la cantidad de agua necesaria para que tenga un residuo asfáltico de 55%. Para calcular dicha cantidad de agua, previamente se determina en otra muestra de la emulsión, el residuo asfáltico por Destilación o por evaporación. El porcentaje de residuo de la emulsión diluido se verificará mediante la prueba correspondiente de destilación o evaporación.

6.2 Se criba una porción de cemento Portland a través de la malla N°80, se toman 50 ± 0.1 g de la fracción que pasa dicha malla y se colocan en el recipiente metálico. Se ajusta la temperatura, tanto del recipiente con su contenido como de la emulsión diluida, a 25°C aproximadamente, y a continuación se agregan 100 g. de ésta al cemento Portland contenido en el recipiente, y a la vez se mezclan con la varilla metálica efectuando movimientos circulares a una velocidad de 60 vueltas/min, aproximadamente. Una vez transcurrido el primer minuto de agitado, se agregan a la mezcla de cemento y emulsión 150 ml de agua destilada, y se continua mezclando durante 3 minutos.

6.3 A continuación, se pasa la mezcla a través de la malla N°14, cuyo peso incluyendo el de su fondo, se habrá determinado previamente, registrándolo como " A". Para efectuar este cribado de la mezcla se lava varias veces con agua destilada el material contenido y el recipiente en que se hizo la mezcla y se pasa el producto del lavado a través de la malla, que también se lava dejándole caer el

agua destilada desde una altura de 15 cm. con objeto de no forzar el paso de los grumos retenidos. El lavado se suspende cuando el agua salga clara.

6.4 Se instala el fondo a la malla que contiene el residuo asfáltico y se colocan en el horno a una temperatura de 163°C, para secar el conjunto hasta que dos (2) pesadas sucesivas no difieran en más de 0.1 g., después de lo cual se registra el peso como B, en gramos.

7. CALCULOS

Se calcula el peso del material retenido en la malla N°14 y en su fondo, mediante la siguiente ecuación :

$$M = B - A \qquad \text{(Ec.35.1)}$$

En donde :

M : Peso del material retenido en la malla, g
A : Peso de la malla y fondo, g
B : Peso de la malla + fondo + material, g

8. INFORME

Se reporta como miscibilidad con Cemento Portland el valor M, expresado como porcentaje respecto a los 100 g. de emulsión utilizada.

9. COMENTARIOS

9.1 Del proceso de ensayo

a. En esta prueba se tendrá la precaución de usar siempre el Cemento Portland Tipo III, con la finura indicada y que no presente hidratación.

b. El tiempo de mezclado del cemento con la emulsión asfáltica tiene que ser igual a 3 minutos, tal como lo indica el procedimiento de ensayo. Un tiempo mayor podría perjudicar la estabilidad de la emulsión asfáltica utilizada.

9.2 De la utilidad del ensayo de Miscibilidad

a. Cuando se necesita estabilizar bases con emulsión asfáltica, será necesario realizar este ensayo a fin de detectar si el material asfáltico será miscible con los finos de la base a estabilizar. Además podría recomendarse como alternativa de estabilización, el agregar cemento Portland a la mezcla emulsión-suelo.

CAPITULO V

DISEÑO

DE

MEZCLAS

V. DISEÑO DE MEZCLAS

V.1 GENERALIDADES

El concreto o mezcla para pavimentos, se compone principalmente de aglutinante (cemento y agua en el caso de concretos hidráulicos, asfalto con o sin solventes en el caso de concretos asfálticos) y agregados.

Existen diferentes tipos de mezclas para superficies de pavimentos que son usados como rodamiento en vías urbanas y carreteras, las cuales están sujetas a grandes volúmenes de tráfico y severas condiciones de servicio. Apropiadamente diseñadas y elaboradas son capaces de resistir los ilimitados volúmenes de diferentes tipos de tráfico, toda vez que estén soportadas por una adecuada estructura de fundación (base, sub-base y terreno de sub-rasante).

La mayoría de estas mezclas deben tener una expectativa de vida útil de 20 años o más. Los espesores de este tipo de mezclas varían desde 2.5 hasta los 10 cm (lo usual en nuestro medio), salvo en mezclas de concreto hidráulico, las cuales tienen un espesor de 20 cm.

Estas mezclas tienen como característica común el uso de agregados bien graduados, mezclados con cemento asfáltico, asfalto líquido o cemento Portlad.

La dosificación de estas mezclas implica el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos especificados de preparación, colocación, resistencia, durabilidad, densidad y acabado. Las características requeridas se rigen por el empleo que se va a dar al concreto. Estas características son siempre consideradas en las especificaciones del proyecto.

Las proporciones calculadas por cualquier método deben considerarse siempre objeto de una revisión basada en la experimentación con las mezclas de prueba. De acuerdo con las circunstancias, las mezclas de prueba pueden prepararse en un laboratorio o de preferencia, como muestras de campo de tamaño especificado. Este último procedimiento, cuando es factible, evita las posibles fallas derivadas de suponer que los datos de pequeñas mezclas hechas dentro del laboratorio predicen el comportamiento en condiciones de campo.

Debido a que los materiales pétreos o agregados constituyen entre el 90 al 95% en peso, del total de la mezcla elaborada, se hizo necesario en el CAPITULO III, estudiar aquellas características importantes que determinaran la calidad de los mismos. Así en este CAPITULO V, en el caso de mezclas asfálticas en caliente y en frío, será necesario estudiar el cálculo de la gradación combinada de agregados pétreos. Por otro lado para el diseño de mezclas de concreto hidráulico, es necesario conocer si estos agregados

cumplen con los requerimientos de granulometría, absorción, Peso Volumétrico y Densidad.

V.2 CÁLCULO DE LA GRADACIÓN COMBINADA DE AGREGADOS PÉTREOS PARA SUPERFICIES DE PAVIMENTOS.

V.2.1 Métodos para el proporcionamiento de gradaciones.

Combinar dos o más agregados que tienen diferentes gradaciones para producir una combinación de los mismos que se encuentre en las especificaciones de gradación para una mezcla asfáltica particular, es una práctica común en construcción de pavimentos.

La determinación de cantidades relativas de varios agregados, para obtener una gradación deseada, es un problema de proporcionamientos que puede ser resuelto mediante diferentes métodos, entre los que se encuentran :

a. Método de Pesos Volumétricos.

El objeto de este método es establecer una curva de Gauss, como resultado de graficar los porcentajes de agregados combinados vrs Peso Volumétrico Compactado de las distintas combinaciones de agregados.

En este método se considera como mezcla óptima la que tenga mayor Peso Volumétrico, por ser ésta la que logra tener menor número de vacíos, ya que sus granos están acomodados entre sí, de una mejor forma. Indudablemente se tendrá que verificar que la granulometría de esta mezcla óptima está dentro de los límites especificados de la mezcla proyectada.

b. Método Gráfico.

El objeto de este método es establecer gráficamente la amplitud mínima de separación entre los límites de la especificación granulométrica. Dichos límites se grafican como puntos dentro de las " líneas de porcentajes pasantes " para cada una de las mallas de las granulometrías de los materiales a combinar.

Se obtiene la combinación óptima entre dos agregados, cuando se traza una línea perpendicular que pase por el punto medio de la línea de amplitud mínima, la cual interceptará las escalas de porcentajes de agregados a combinar, para obtener la óptima gradación (Ver FIG.V.1).

Si es el caso de tres agregados a combinar, se aplica primeramente el método, a los dos agregados de mayor tamaño y luego el tercero se combina con la mezcla óptima resultante de la primera aplicación.

Por requerir de menor tiempo y por estar en función de las granulometrías originales, este es uno de los métodos más utilizados para la combinación de materiales pétreos en mezclas asfálticas en caliente.

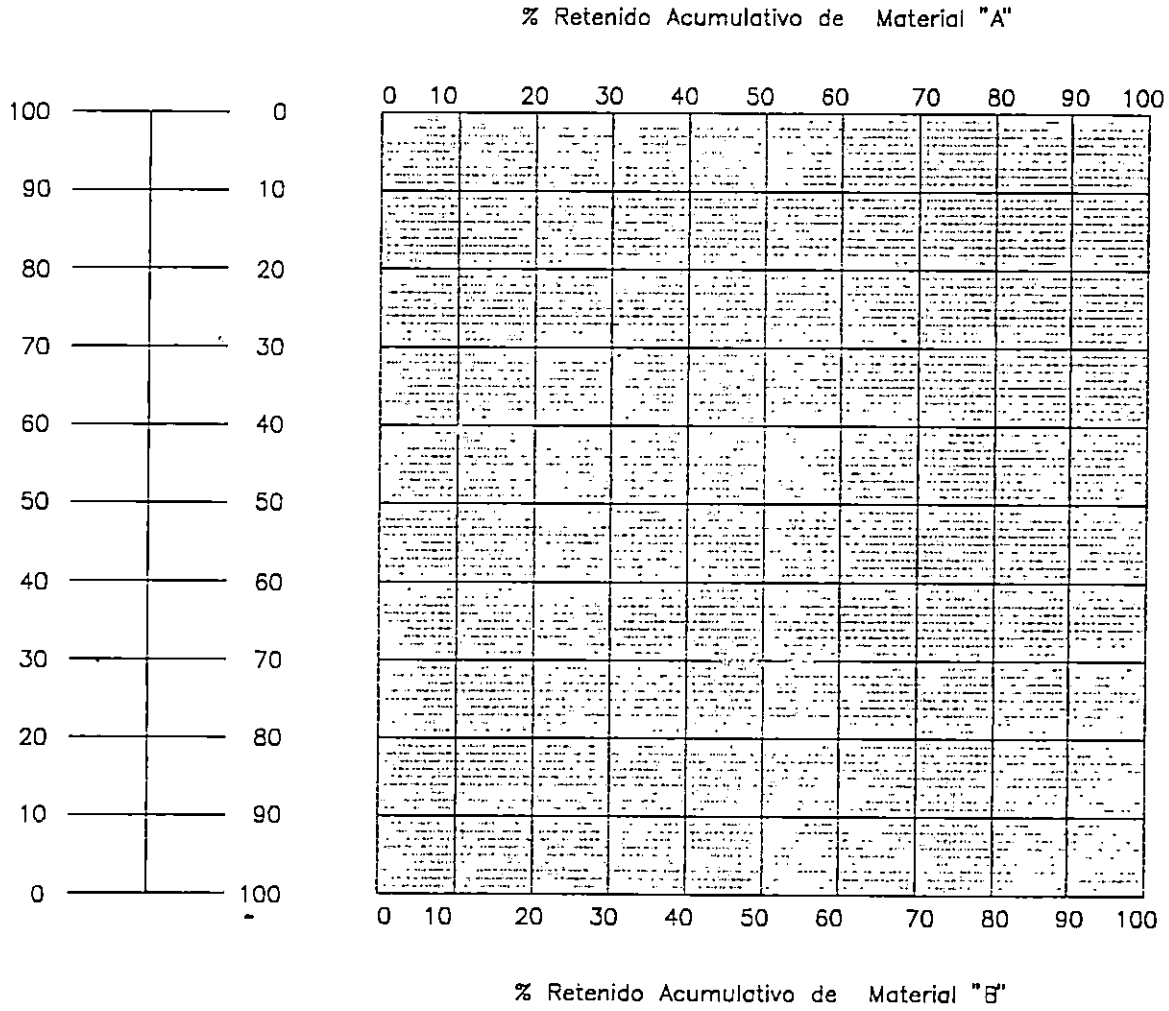


FIG. V.1 Formato para obtener gráficamente la combinación óptima de materiales pétreos, para la elaboración de una mezcla asfáltica en caliente.

c. Método de la Formula Básica o de Tanteos Sucesivos.

Indistintamente del número de agregados a combinar o del método mediante el cual las proporciones son determinadas, la FORMULA BASICA que expresa la combinación es :

$$P = Aa + Bb + Cc + \ldots\ldots\ldots\ldots + etc \qquad \text{(Ec. V.1)}$$

Donde :

P =	Porcentaje del material que pasa la malla dada para la combinación de agregados A, B, C, ..., etc.
A, B, C, ..., etc =	Porcentajes que pasan por una malla especificada, de los diferentes agregados A, B, C, ..., etc.
a, b, c, ..., etc =	Proporciones de agregados, A, B, C, ..., etc. usados en la combinación, donde el total es igual a 1.0

Los porcentajes combinados, P, deben estar estrechamente de acuerdo con los porcentajes deseados para la combinación de los diferentes tamaños de mallas. En ninguno de los casos, se deben observar valores fuera de los límites de las especificaciones de gradación establecidas. Una combinación óptima puede ser aquella en la cual los porcentajes de lo combinado están muy cerca como sea posible a los porcentajes deseados originalmente.

c.1 Combinando dos materiales

La formula básica para este caso se convierte en :

$$P = Aa + Bb \qquad \text{(Ec. V.2)}$$

Haciendo $a + b = 1$ (para dos agregados) (Ec. V.3.a)

$a + b + c = 1$ (para tres agregados) (Ec. V.3.b)

y sustituyendo esto en la Ec. V.2 se tiene que :

$$b = \frac{P - A}{B - A} \qquad \text{(Ec. V.4)}$$

$$a = \frac{P - B}{A - B} \qquad \text{(Ec. V.5)}$$

En este método se asume que un apilamiento de agregado será combinado con arena para encontrar los requerimientos granulométricos de la mezcla asfáltica en proyecto.

El procedimiento de determinación de la combinación de óptima de dos agregados, conlleva los siguientes pasos :

1. Examinar las dos granulometrías para determinar cual de los materiales da mayor contribución en ciertos tamaños.

2. Utilizando los porcentajes pasantes en una abertura específica , el punto medio de la especificación en esta misma abertura y la Ec. V.4 ó V.5 se determina el valor de "a" o "b", según sea la ecuación utilizada.

3. Sustituyendo el valor de "a" o "b" en la Ec. V.3.a, se obtiene el valor complementario del determinado en el paso N°2.

4. Se obtiene la granulometría de esta combinación y se comprueba que los "Porcentajes Pasantes" no estén muy próximos a los límites de la especificación (ni al inferior, ni al superior), si esto sucede, deberá aumentarse o disminuirse el valor porcentual del material que está provocando tal proximidad, según se necesite incrementar o reducir el pasante en dicha abertura.

5. Obtener la granulometría de esta nueva mezcla de agregados, para comprobar si la combinación obtenida se aproxima lo más posible a la granulometría ideal (la de los puntos medios de la especificación de referencia). Puede suceder que en la primera combinación se logre la mezcla óptima. En estos casos no es necesario realizar una nueva combinación.

c.2 Combinando tres materiales

Se asume que el mineral Filler, C, será el que se combinará con el agregado A o B para obtener la gradación que se encuentre dentro de los requerimientos de la especificación considerada como referencia.

El procedimiento de determinación de la combinación de óptima de tres agregados, conlleva los siguientes pasos :

1. Identificar la malla en donde se encuentra una separación marcada, entre los pasantes de los agregados a combinar.

2. Utilizando los porcentajes pasantes en dicha malla, el punto medio de la especificación en esta misma abertura y la Ec. V.4 ó V.5 se determina el valor de "a" o "b", según sea la ecuación utilizada.

3. Mediante un procedimiento algebraico, utilizando las ecuaciones V.3.b y V.1, se determinan los valores complementarios al determinado en el paso N°2

4. Se combinan los agregados en estas proporciones y se repiten los pasos Nos. 4 y 5 del caso anterior (combinación de dos agregados).

En este trabajo se utilizará el método "b" (método Gráfico), debido a que es más sencillo de usar, más rápido en su uso y que a la vez interviene menos la apreciación de la persona que desarrolla el diseño de la mezcla.

V.3 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

V.3.1 Introducción

En una mezcla asfáltica en caliente para pavimentos, el asfalto y los agregados son combinados en proporciones precisas. Las proporciones relativas de estos materiales determina las propiedades físicas de la mezcla y la forma en que la mezcla trabajará una vez colocada sobre el sitio. Hay dos métodos comúnmente usados para el diseño de mezclas, éstos son el Método Marshall y el Método Hveem. En este trabajo se desarrolla el primero de estos, debido a que en El Salvador es el método más usado para el diseñó y control de tales mezclas, por ser el método que generalmente es sugerido en las especificaciones técnicas de un proyecto específico de Carreteras.

V.3.2 Características y comportamiento de las mezclas

Cuando una muestra de mezcla asfáltica es preparada en el laboratorio, ésta puede ser analizada para determinar la forma en que se comportará dentro de la estructura del pavimento.

Para conocer el comportamiento de las mezclas será necesario realizar un análisis sobre cuatro de sus características . Estas cuatro características son :

a. Densidad de la mezcla
b. Vacíos de aire
c. Vacíos en el agregado mineral (VMA)
d. Contenido de asfalto

a. Densidad Bulk (Db)

La densidad de la mezcla compactada es su Gravedad Específica (el peso de un volumen específico de mezcla). La Densidad Bulk es particularmente importante para el inspector, debido a que altas densidades del pavimento terminado, determinaran un mejor comportamiento final en la mezcla colocada.

En el diseño y análisis de mezclas, la Densidad de los especímenes compactados es usualmente expresada en libras por pie cúbico (lb/ft^3) o kilogramos por metro cúbico. Esta es calculada al multiplicar la Gravedad Específica Bulk de la mezcla por la Densidad del agua (62.416 lb/ft^3 (1000 kg/m^3)) . La Densidad determinada en el laboratorio será el valor de referencia con el cual se referenciará la compactación de mezcla colocada en el campo, determinando de esta forma si dicha compactación a sido adecuada o inadecuada.

Debido a que con la compactación de campo, rara vez se puede conseguir la densidad alcanzada con la compactación de laboratorio, las especificaciones usualmente expresan la densidad de la mezcla asfáltica colocada, como un porcentaje de la densidad del laboratorio. Su cálculo es a través de la Ec. V.11.

b. Vacíos de aire o Porcentaje de vacíos (Pa)

Son pequeños espacios de aire o bolsas de aire que se ubican entre las partículas recubiertas de asfalto, en la mezcla final compactada (Ver FIG.V.2). Un cierto porcentaje de vacíos de aire es necesario en todas la mezclas de gradación densa para carreteras, ya que este dará lugar a lograr alguna compactación adicional provocada por el tráfico vehicular y a que pequeñas cantidades de asfalto puedan fluir hacia dichos vacíos, durante esta compactación vehicular subsecuente. El porcentaje permisible de vacíos de aire (en especímenes de laboratorio) varía según el destino de la mezcla, así para capa de superficie su valor está entre 3 y 5 %, mientras que para base asfáltica está entre 3 y 8%.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es una función del contenido de Vacíos de aire. La razón de esto es el hecho de que, a menor Contenido de Vacíos la Permeabilidad de la mezcla disminuye. Contenidos de Vacíos altos en la mezcla son perjudiciales, ya que permiten la entrada de aire y agua al interior de la misma. Por otro lado, contenidos de Vacíos muy bajos provocan que la mezcla fluya, provocando que el exceso de asfalto fluya hacia la superficie de la mezcla.

La densidad y el contenido de vacíos están muy relacionados, ya que ante elevadas densidades se obtienen bajos contenidos de Vacíos de aire en la mezcla o viceversa. Usualmente las especificaciones de trabajo requieren densidades que permitan obtener

valores adecuados para los contenidos de vacíos de aire, los cuales como ya se dijo oscilan entre 3 y 5% para superficie y menor de 8% para bases asfálticas. Su cálculo es a través de la Ec. V.12

c. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) es el volumen del espacio ocupado por el Porcentaje de Vacíos y el contenido de asfalto efectivo, de una mezcla compactada.

Se expresa como un porcentaje del volumen total del especímen de ensayo. Su determinación es a través de la Ec. V.13

El VMA representa los espacios que están disponibles para acomodar dentro de estos, el volumen efectivo de asfalto (es decir, todo el asfalto, excepto la porción perdida por absorción dentro de las partículas de agregados) y el volumen de vacíos de aire necesario en la mezcla (Ver FIG. V.2). En cuanto mayor VMA exista en el agregado seco, mayor será el espacio disponible para la película de asfalto que recubre a las partículas de los agregados.

En base al hecho de que el espesor de la película de asfalto sobre las partículas de los agregados hace más durable la mezcla, los requerimientos específicos mínimos para VMA son recomendados y especificados en función de el tamaño del agregado (Ver TABLA V.1).

El valor mínimo de VMA puede ser ajustado para lograr un espesor de película de asfalto deseado. Incrementando la densidad de la gradación de el agregado a un punto en el cual el valor de VMA este por debajo de su valor mínimo, se obtendrá una película delgada de asfalto, una apariencia seca y baja durabilidad de la mezcla. Por lo tanto disminuir intencionalmente el contenido de asfalto, con propósitos de economizar en la producción, puede resultar contraproducente para la calidad deseada en el pavimento a construir.

TABLA V.1 Valores mínimos de VMA según el tamaño máximo de las partículas del agregado. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

Tamaño nominal máximo de la partícula		VMA minimo, %
mm	in	
1.18	0.0469	23.5
2.36	0.093	21
4.75	0.187	18
9.5	0.375	16
12.5	0.500	15
19.0	0.750	14
25.0	1.000	13
37.5	1.500	12
50.0	2.000	11.5
63.0	2.500	11

d. Contenido asfáltico

En una mezcla asfáltica, es la cantidad de asfalto que ésta posee respecto al peso original de la muestra de ensayo.

Un aproximado de su valor óptimo en el diseño de mezclas, es el que se calcula a través de la Ec. V.6 y V.7

El contenido de asfalto contenido dentro de una mezcla asfáltica compactada, se divide en dos partes, a saber :

d.1 Contenido de asfalto absorbido (Aa)

Calculado a través de la Ec. V.16, se define como la cantidad de asfalto, en porciento, respecto al peso seco de los agregados, que se aloja dentro de los vacíos permeables del agregado mineral.

d.2 Contenido de asfalto efectivo (Ae)

Calculado a través de la Ec. V.15, se define como la diferencia entre el Contenido de asfalto total y el contenido de asfalto absorbido, el cual sirve para proporcionar la adherencia partícula-partícula en la masa que conforma la mezcla asfáltica elaborada.

La proporción de asfalto en la mezcla es crítica y debe ser cuidadosamente determinada en el laboratorio y controlado durante la fabricación de la mezcla en el campo.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla es altamente dependiente de las características del agregado, es decir de su gradación y absorción ya que el recubrimiento de las partículas, está en función de los finos en la gradación de la mezcla, el área superficial total de los agregados, así, mezclas con grandes cantidades de finos y áreas superficiales totales, requerirán una mayor cantidad de asfalto para lograr un recubrimiento uniforme. En cambio mezclas de agregados gruesos, requieren menos cantidad de asfalto para lograr el mismo fin.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciado cuando en la mezcla de agregados se incluye material de relleno (filler: agregado muy fino el cual pasa la malla N°200). Pequeños incrementos en la cantidad de filler en una gradación, pueden literalmente absorber mucho del contenido de asfalto, resultando en una mezcla seca e inestable. Pequeños decrementos tienen efecto opuesto: demasiado filler da como resultado mezclas muy ricas en asfalto (mezclas húmedas).

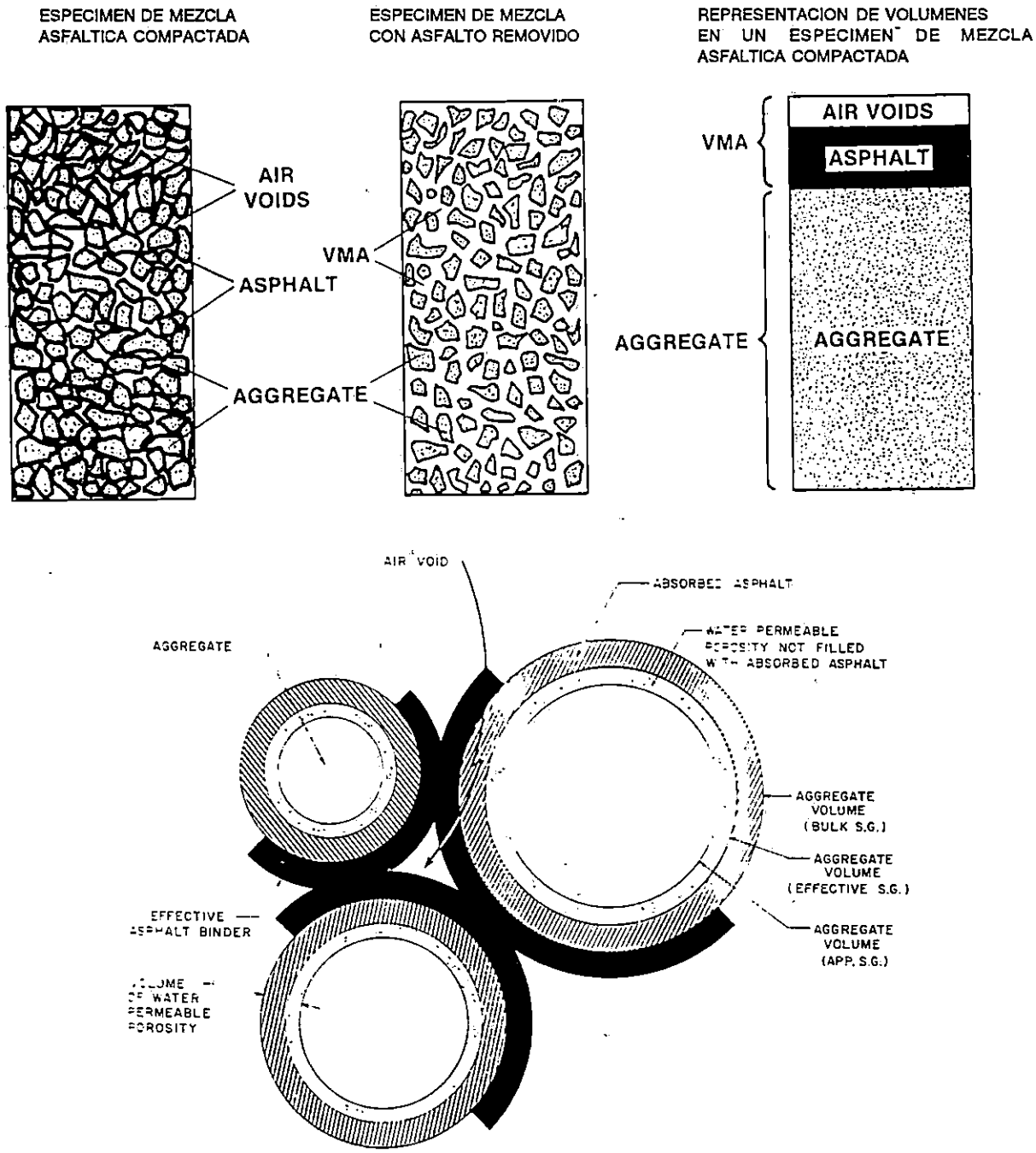


FIG. V.2 Ilustración del VMA, Vacíos de aire y contenido efectivo de asfalto en una mezcla de pavimento asfáltico compactada.

a) Especímen de mezcla asfáltica compactado
b) Especímen de mezcla con asfalto eliminado
c) Representación de los volumenes en un especímen de mezcla asfáltica compactado.
d) Detalle amplificado de agregados, vacíos y asfalto.

V.3.3 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.

El diseño adecuado de una mezcla asfáltica de pavimentación para un uso específico, debe considerar las siguientes propiedades :

a. Estabilidad
b. Durabilidad
c. Impermeabilidad
d. Trabajabilidad
e. Flexibilidad
f. Resistencia a la fatiga
g. Resistencia al deslizamiento

A continuación se define cada uno de estas propiedades. Además las causas y efectos de cada una de estas.

a. Estabilidad

Capacidad de una mezcla asfáltica para resistir deformaciones provocadas por las cargas impuestas.

Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamientos y corrimientos u ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.
La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y cantidad de asfalto. En la TABLA V.2, se presentan las causas y efectos de una baja estabilidad.

TABLA V.2 Causas y efectos de la inestabilidad de los pavimentos. Fuente : Manual MS - 22, Instituto del Asfalto, 1983

BAJA ESTABILIDAD	
CAUSAS	**EFECTOS**
Exceso de asfalto en la mezcla	Ensurcamientos, derramamientos o sangramientos.
Exceso de arena media en la mezcla	Suavidad durante el compactado con rodillo liso y despues de la construcción, dificultad en la compactación
Agregado redondeado, pequeño o sin superficies fracturadas.	Ensurcamienatos y acanalamientos

b. Durabilidad

Propiedad de una mezcla asfáltica que indica su capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima.

El deterioro debido al clima se basa en los cambios de las características del asfalto, tales como su oxidación y volatilización, que determinan una alteración del pavimento y agregados sumado a la acción del agua.

La durabilidad se incrementa por lo común mediante aumento en el contenido del asfalto, granulometrías cerradas del agregado y mezclas bien compactadas e impermeables.

En la TABLA V.3, se presentan las causas y efectos de una pobre durabilidad.

TABLA V.3 Causas y efectos de la pérdida de durabilidad. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

PERDIDA DE DURABILIDAD	
CAUSAS	**EFECTOS**
Bajo contenido de asfalto	Resequedad en la mezcla
Alto contenido de vacíos a través del diseño o pérdida de compactación	Prematuro endurecimiento del asfalto seguido de fracturamiento o desintegración.
Agregados suceptibles al agua (hidrofílicos) en la mezcla.	Películas de asfalto desprendidas, agregados desnudos, dejando un pavimento desgastado o exageradamente desecho .

c. Impermeabilidad

Resistencia que tiene un pavimento asfáltico a permitir el paso del agua y aire dentro o a través del mismo.

Esta característica esta relacionada con el contenido de vacíos de una mezcla compactada ya que , el contenido de vacíos es un indicador del potencial para permitir el paso del aire y agua a través del pavimento. La característica de estos vacíos es más importante que el número de éstos. El tamaño de los vacíos puede definir si estos se encuentran o no interconectados, así el acceso de los vacíos a la superficie del

pavimento, determinará el grado de impermeabilidad. Virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en construcción de carreteras son permeables en algún grado.

En la TABLA V.4 se muestran las causas y efectos del elevado grado de permeabilidad en una mezcla asfáltica.

TABLA V.4 Causas y efectos de la alta permeabilidad. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

MEZCLA MUY PERMEABLE	
CAUSAS	**EFECTOS**
Bajo contenido de asfalto	La película delgada de asfalto puede causar envejecimiento prematuro
Alto contenido de vacíos en el diseño de la mezcla	Agua y aire pueden fácilmente entrar al pavimento, causando oxidación y desintegración en la mezcla.
Inadecuada compactación	Dará como resultado, alto contenido de vacíos en el pavimento, facilitando la infiltración del agua y la consiguiente pérdida de resistencia.

d. Trabajabilidad

Facilidad con que las mezclas para pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

Mezclas con buena trabajabilidad son fácilmente colocables y compactables, una mezcla con poca trabajabilidad será difícil de tenderla y compactarla. La trabajabilidad puede mejorarse mediante el cambio de parámetros de diseño, fuente de los agregados y/o de gradación.

Mezclas duras (mezclas con alto porcentaje de agregados gruesos) tienen tendencia a segregarse durante su manipulación y además pueden ser dificultosas para compactar. Un contenido demasiado alto de filler puede también afectar la trabajabilidad. Este puede causar gomosidad en la mezcla, volviéndola dificultosa de compactar.

En la TABLA V.5 se muestran las causas y efectos de una pobre trabajabilidad en la mezcla asfáltica.

TABLA V.5 Causas y efectos por problemas de trabajabilidad en las mezclas asfálticas. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

POBRE TRABAJABILIDAD	
CAUSAS	**EFECTOS**
Partículas de tamaño muy grande	Superficie rugosa, dificultad de colocación
Excesivo agregado grueso	Puede presentar dureza al compactar
Temperatura de la mezcla muy baja	Agregados descubiertos, no durable, superficie rugosa, dureza al compactar.
Exceso de arena media	Mezcla empujada bajo el rodillado, suavidad remanente.
Bajo contenido de filler	Mezcla suave, altamente permeable
Alto contenido de filler	La mezcla puede ser seca o gomosa, dura para manejar, no durable

e. Flexibilidad

Es la propiedad que tiene una mezcla asfáltica para adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la sub-rasante, sin quebrarse.

La flexibilidad es una característica deseable para cualquier tipo de mezcla asfáltica colocada.

Una mezcla de gradación abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que una mezcla densa, con bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad contrastan con los de estabilidad, en estos casos un acuerdo sobre lo dicho deberá ser considerado.

f. Resistencia a la fatiga

Es la capacidad que tiene el pavimento de resistir flexiones repetidas causadas por las cargas vehiculares.

Investigaciones han demostrado que la cantidad de asfalto es extremadamente importante cuando se considera la resistencia a la fatiga en una mezcla para

pavimentación. Como regla general, cuanto mayor es el contenido de asfalto, mayor es la resistencia a la fatiga. A la mezcla deben incluírseles agregados bien graduados que permitan un mayor contenido de asfalto sin causar exudación o afloramiento en el pavimento compactado(Ver TABLA V.6).

TABLA V.6 Causas y efectos de una baja resistencia a la fatiga de una mezcla asfáltica compactada. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

POBRE RESISTENCIA A LA FATIGA	
CAUSAS	**EFECTOS**
Bajo contenido de asfalto	Grietas por fatiga
Alto contenido de vacíos por diseño	Prematura envejecimiento del asfalto seguido de grietas por fatiga.
Carencia de compactación	Prematura envejecimiento del asfalto seguido de grietas por fatiga.
Inadecuado espesor del pavimento	Flexionamiento excesivo seguido de grietas por fatiga

g. Resistencia al deslizamiento

Es la característica de una superficie asfáltica para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las llantas del vehículo, particularmente cuando ésta se encuentra húmeda.

Una buena resistencia al deslizamiento se denota cuando la huella de las llantas se mantiene en contacto con las partículas de agregados en lugar de deslizarse sobre la película de agua que se ubica sobre la superficie del pavimento. Los factores para la obtención de alta resistencia al deslizamiento son generalmente los mismos que aquéllos con los que se obtiene una alta estabilidad. Los principales contribuyentes son : adecuados contenidos de asfalto y agregados con textura superficial rugosa. Sin embargo, el agregado no solamente debe tener una superficie rugosa, sino que también debe ser resistente al pulimento.

La resistencia al deslizamiento es típicamente medida en el campo a 40 mi/h (64.4 km/h) con una huella de llanta estándar, bajo una humedad controlada de la superficie.

Una superficie de rodadura con muchas pequeñas crestas y valles tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento es obtenida con un agregado de caras fracturadas cuyos diámetros oscilan entre los 9.5 mm (3/8") y los 12.5 mm (1/2") como tamaño máximo.

Las mezclas tan ricas en asfalto como para llenar los vacíos del pavimento compactado, causarán el afloramiento del mismo a la superficie. Esto es lo que normalmente se llama EXUDACION

La TABLA V.7 muestra las causas y efectos de una resistencia pobre al deslizamiento en una mezcla asfáltica compactada.

TABLA V.7 Causas y efectos de una resistencia pobre al deslizamiento. Fuente : Manual MS - 22 del I.A.

RESISTENCIA POBRE AL DESLIZAMIENTO	
CAUSAS	**EFECTOS**
Exceso de asfalto	Sangramiento, baja resistencia al deslizamiento.
Textura del agregado pobremente graduado	Pavimento liso, potencial para el resbalamiento
Agregado pulimentado en la mezcla	Baja resistencia al deslizamiento

V.3.4 Definición de mezcla asfáltica en caliente.

Es una combinación de agregados uniformemente mezclados y cubiertos por cemento asfáltico.

Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico como para lograr adecuada trabajabilidad y mezclado, tanto el agregado como el asfalto deben ser calentados antes del mezclado; de ahí el término "mezcla en caliente".

V.3.5 Objetivos del diseño de mezclas asfálticas en caliente

Al igual que otros diseños de materiales de ingeniería, el de mezclas asfálticas en caliente, es una materia completa de selección y proporcionamiento de materiales para obtener las propiedades deseadas en la construcción terminada.

El objetivo general del diseño de mezclas asfálticas en caliente es determinar una mezcla económica de agregados y asfalto, que tenga las siguientes características :

a. Suficiente asfalto para asegurar la durabilidad del pavimento.
b. Suficiente estabilidad en la mezcla para satisfacer las demandas del tráfico sin distorsiones o desplazamientos.
c. Suficiente vacíos en la mezcla compactada para que, bajo la pequeña compactación adicional inducida por el tráfico vehicular, no se produzcan dezplazamientos, sangramientos ni pérdida de estabilidad, aún más, para que no se produzcan infiltraciones de aire y humedad dañinas para dicha mezcla compactada.
d. Suficiente trabajabilidad para permitir una eficiente colocación de la mezcla, sin segregación.

V.3.6 Coordinación de los ensayos para el control de la mezcla

El control de mezcla asfáltica debe ser coordinado con otras actividades de la inspección de materiales y procesos constructivos. Asi este control de la mezcla debe coordinarse con las siguientes etapas de un proyecto constructivo :

a. Diseño preliminar

El propósito principal de los ensayos en esta etapa es determinar si las fuentes locales probables, son satisfactorias en calidad y que producirán una mezcla para pavimentación que satisfaga tanto la gradación como los demás requerimientos del diseño de mezcla propuestos en las especificaciones.

b. Aceptación de las fuentes de materiales

Normalmente es desarrollado después de la adjudicación del contrato y después que el contratista a indicado el propósito de las fuentes de materiales pétreos y asfalto.

c. Elaboración de la formula de trabajo en la planta de producción

Es realizado cuando inicia la producción de mezcla en la planta, es decir cuando se esta calibrando la formula de trabajo en la planta.

d. Construcción

Se desarrolla como una actividad de rutina, en forma periódica durante la inspección que se ejecuta en el proceso constructivo.

$$y = \frac{3}{4}\left(x^2 - 3\right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{3}{4}(2x)$$

V.3.7 Procedimiento del método

V.3.7.1 Introducción

Los conceptos del método Marshall para el diseño de mezclas bituminosas en caliente, fueron formulados por Bruce Marshall, juntamente con el Mississippi State Highway Department. El Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (U.S. Corps of Engineers), a través de extensas investigaciones y estudios correlacionados, mejoró e incorporó ciertos aspectos a su procedimiento de ensayo desarrollándose finalmente un criterio de diseño de mezclas. Este ensayo ha sido normalizado por ASTM bajo la designación D 1559, ***Resistencia al Flujo Plástico usando el aparato Marshall.***

El método Marshall es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que utilizan cemento asfáltico y agregados de granulometría cerrada o fina, con un tamaño máximo nominal de 25 mm (1") o menor. Se puede usar tanto para diseño de laboratorio como para el control de la mezcla durante la pavimentación.

El procedimiento del método Marshall inicia con la preparación de especímenes de ensayo. Preliminarmente a la operación de este método se requiere que :

a. Los materiales propuestos, cumplan con las especificaciones del proyecto
b. La combinación de agregados cumpla con las especificaciones granulométricas del proyecto.
c. Se conozcan la Gravedad Específica Bulk de todos los agregados usandos en la combinación y la Gravedad Específica del Cemento Asfáltico.

Estos requerimientos son materia de ensayos de rutina, especificaciones y técnicas de laboratorio de cualquier método de diseño de mezclas.

El método Marshall usa especímenes estandarizados de 64 mm (2 1/2") de altura por 102 mm (4") de diámetro. Estos son preparados usando un procedimiento estandarizado de calentamiento, mezclado y compactación de la mezcla asfalto-agregado. Los dos aspectos principales del método Marshall para el diseño de mezclas son el ***análisis de densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad-flujo*** de especímenes compactados.

En el ensayo de Estabilidad se determina la carga máxima (en Newtons (lb)) que resisten los especímenes de prueba, ensayados a 60°C (140°F) en la forma que se describirá más adelante. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de centésimas de pulgada ((0.25 mm) ocurrido desde el inicio de la aplicación de la carga hasta la lectura de la máxima carga.

V.3.7.2 Equipo de laboratorio

El equipo requerido para la preparación y ensayo de especímenes, es el siguiente :

Cantidad	Descripción
5	Bandejas metálicas de fondo plano, para el calentamiento de agregado
2	Bandejas metálicas, redondas, aproximadamente de 4 lt. de capacidad para el mezclado de agregados.
2	Hornos eléctricos para el calentamiento de agregados, asfalto y mezcla asfáltica con capacidad para 200°C, de temperatura regulable.
1	Hot-Plate eléctrico para el calentamiento del martillo de compactación.
2	Cucharones para mezclado de agregados
2	Beakers de 1000 ml tipo Pyrex para el calentamiento del asfalto
2	Termómetros armados (tipo dial o de vidrio) con capacidad desde 10°C a 232°C, para determinar la temperatura de agregados asfalto y mezcla asfáltica.
1	Balanza de 20 kg. de capacidad y 1.0 g de aproximación
1	Balanza de 2610 g de capacidad y 0.1 g de aproximación
2	Cucharas mezcladoras con mango de madera
2	Espátulas de acero con hojas de 4" y 6"
1	Mezclador mecánico (opcional)
1	Baño María con capacidad para inducir temperaturas de 60°C.
1	Pedestal de compactación de madera tratada de 200 x 200 x 460 mm (8x8x18 pul), cubierto con una placa de acero y provisto de un sujetador circular para moldes de 4" de diámetro.
3	Moldes para compactación, consistentes de base, collar y anillo, con 4" de diámetro y 3" de altura aproximadamente.
1	Martillo de compactación, consistente de una superficie plana circular de 3 7/8" de diámetro, ubicada en su extremo que estará en contacto con la mezcla. Su peso será de 10 lb (4.5 kg) y su altura de caída de 18 pul (457 mm).
1	Extractor de briquetas compactadas.
1	Par de guantes con recubrimiento de asbesto, capaz de aislar las manos del calor.
2	Crayones para identificación de briquetas
1	Prensa hidráulica eléctrica con capacidad para aplicar cargas a velocidades de 2 in/min (51 mm/min).

En la FIG. V.3 se presenta parte del equipo del anteriormente enlistado.

a. Molde para especímenes
b. Extractor de especímenes
c. Martillo para compactación
d. Pedestal para compactación
e. Sujetador de moldes
f. Máquina de carga
g. Horno, Hot Plate
h. Equipo de mezclado
i. Balanzas
j. Baño María
k. Charolas para mezclado

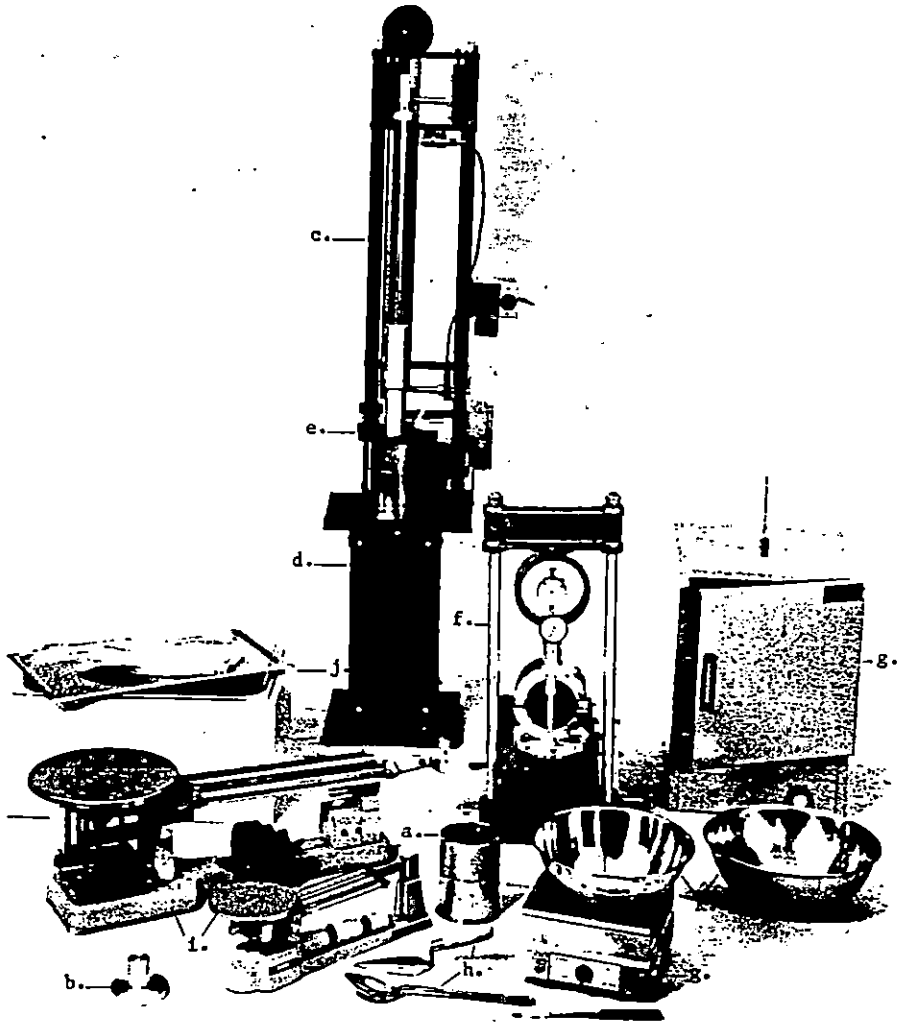


FIG.V.3 Equipo básico para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente usando el método Marshall

V.3.7.3 Preparación de los especímenes o briquetas.

a. Número de especímenes

Por lo menos deben ser preparados tres (preferiblemente cinco) especímenes por cada combinación de agregados y asfalto. El contenido de asfalto óptimo debe ser primeramente estimado, a través de cualquiera de las dos expresiones siguientes :

a.1 Relación empírica propuesta por T. E. Stanaton

$$P = 0.02\ a + 0.045\ b + 0.18\ c \qquad \text{(Ec. V.6)}$$

a.2 Relación propuesta por el Instituto del Asfalto (A.I)

$$P = 0.032\ a + 0.045\ b + K\ c + n \qquad \text{(Ec. V.7)}$$

En donde :

P : Porcentaje de asfalto estimado por peso total de la mezcla.
a : Porcentaje de material pétreo retenido en el tamiz N°10
b : Porcentaje de material que pasa la malla N°10 y se retiene en la malla N°200
c : Porcentaje de material que pasa la malla N°200
K : Factor que depende del valor de "c", asi :

c	K
11 - 15	0.20
6 - 10	0.18
< 5	0.15

n : Varía según el tipo de material pétreo y su absorción, asi :

	TIPO DE MATERIAL	n
*	Gravas o arenas de río de baja absorción (boleos)	0.55
*	Gravas angulosas, redondeadas, trituradas de baja absorción	0.60
*	Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y roca triturada dae absorción media	0.70
*	Rocas trituradas de alta absorción	0.80

NOTA : Los valores **a, b** y **c** son obtenidos de la granulometría perteneciente a la combinación óptima de agregados.

El contenido de asfalto entre las diferentes bachadas (cinco bachadas) deberá variar en un valor de 0.5%. Si cada especímen requiere un aproximado de 1200 gramos será necesario para la obtención de cinco promedios de estabilidad-flujo, la elaboración de 15 especímenes, lo cual requerirá de 18 a 20 kg. de agregados y 1 galón de asfalto.

b. Preparación de agregados

Secar los agregados hasta peso constante a 105 ± 5 °C. Los agregados a combinar deberán estar secados a peso constante 105 ± 5°C, separados uno del otro, para poder combinarlos luego en la proporción determinada en la combinación de los mismos.

c. Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación.

Las temperaturas seleccionadas para el mezclado y la compactación, deben ser las que permitan una (a) viscosidad cinemática de 170 ± 20 centistokes, para el mezclado y (b) viscosidad cinemática de 280± 30 centistokes, para la compactación.

d. Preparación del molde y martillo.

El molde y el martillo de compactación deben estar totalmente limpios. El molde deberá ser calentado a una temperatura que oscile entre 93 y 150 °C (200 y 300°F), esto se puede lograr introduciendo los moldes en los hornos eléctricos, descritos anteriormente. El martillo deberá ser calentado utilizando el hot-plate, teniendo cuidado que el martillo no sufra recalentamientos que puedan producir efectos contrarios en la mezcla compactada.

e. Preparación de la mezcla

Para cada contenido de asfalto se prepara una mezcla de agregados calentados a 105°C, y en las proporciones determinadas previamente, utilizando cualquiera de los métodos anotados anteriormente. Se agrega el asfalto a esta combinación de agregados, este asfalto deberá tener la temperatura descrita en el literal "c", para mezclado. El mezclado de asfalto-agregados deberá hacerse en caliente, es decir la bandeja sobre la cual se está preparando cada bachada, debe mantener una temperatura que permita distribuir todo el asfalto, en los 5000 g de agregados de cada bachada (una bachada de 5000 g. es suficiente para formar cuatro especímenes de aproximadamente 1200 g cada uno).

La adición del asfalto a los agregados debe realizarse, colocando la bandeja que contiene a estos últimos sobre la balanza de 20 kg. de capacidad. Deberá formarse un cráter en el centro de los agregados, sobre el cual se derramará el asfalto, teniendo cuidado de que el fondo de la bandeja no quede al descubierto en tal acción.

Luego que el mezclado es uniforme, se traslada la mezcla a los hornos, los cuales deberán contener una temperatura igual o sensiblemente superior a la de compactación.

NOTA : El asfalto no deberá mantenerse con la temperatura de mezclado por un período mayor de una hora.

f. Compactación de especímenes

Se ensambla el molde completo en el pedestal de compactación y se coloca un papel filtro en el fondo del mismo. Después de colocar la mezcla dentro del molde, se aplican 15 golpes con la espátula caliente alrededor del perímetro y 10 en el centro del molde. Se procede a compactar la mezcla, aplicando el número de golpes, como se especifica de acuerdo a la categoría de tráfico de diseño (35, 50 ó 75). Una vez se ha compactado la primera cara, se saca el collarín, se invierte la posición del especímen y se compacta en esta nueva posición, aplicándole el mismo de golpes que se aplicó a la primera cara. Esta actividad deberá ser realizada en el menor tiempo posible, a fin de que la mezcla del especímen compactado no sufra enfriamientos que perjudiquen la buena compactación y por ende las otras propiedades de la mezcla en diseño. Si esto sucede el especímen debe ser desechado.

NOTA : Es aconsejable elaborar cinco (5) especímenes por cada contenido de asfalto, en cuyo caso la cantidad de agregados a preparar, variará a por lo menos 6000 g.

Una vez completada la compactación se procede a extraer el especímen del molde haciendo uso del extractor. El especímen extraído se coloca cuidadosamente sobre una superfice plana, en donde se dejan enfriar a temperatura ambiente, para proceder a registrar su peso seco al aire (normalmente los especímenes compactados se dejan enfriando toda una noche).

NOTA : Cada especímen debe quedar completamente identificado con número y contenido de asfalto al que pertenece.

V.3.7.4 Ensayo de especímenes

En el método Marshall , cada especímen de ensayo compacado es sometido a los siguientes ensayos y análisis, en el orden enlistado :

a. Determinación de la Gravedad Específica Bulk

a.1 De cada pétreo que compone la mezcla de agregados en la mezcla asfáltica (Gravedad Específica Bulk)

a.2 De la combinación de Agregados (Gravedad Específica Bulk)
a.3 De cada especímen compactado (Gravedad Específica Bulk)
a.4 De la mezcla asfáltica suelta (Gravedad Especifica Teórica Máxima)

b. Ensayo de Estabilidad y Flujo
c. Análisis de Densidad y Vacíos.

Una secuencia de tratamiento de cada especímen, para la determinación de las propiedades antes mencionadas, es la siguiente :

1. Secado de cada especímen, hasta peso constante.
2. Registrar el Peso Seco al aire, a temperatura ambiente.
3. Registrar las medidas del especímen (altura y diámetro promedios)
4. Saturación de los especímenes

4.1 Media hora para mezclas densas (1/2 h)
4.2 Veinticuatro horas para mezclas abiertas (24 h)

5. Determinar el Peso Sumergido
6 Determinar el Peso Saturado Superficialmente Seco
7. Introducir los especímenes al Baño María a 60°C por 30 min.
8 Determinación de la Estabilidad y el Flujo
9. Disgregación de especímenes ensayados
10. Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta.
11. Determinación del Contenido de Asfalto de cada especímen
12. Granulometría de la mezcla de agregados presentes en cada especímen
13 Análisis Densidad-Vacíos de cada especimen

a. Determinación de la Gravedad Específica Bulk

a.1 De cada pétreo presente en la combinación de agregados

a.1.1 Del agregado Grueso.

$$Gsb(s) = \frac{A}{B - A} \qquad \text{(Ver Ec. 15.1)}$$

a.1.2 Del agregado fino.

$$Gsb(s) = \frac{A}{B + S - C} \qquad \text{(Ver Ec.16.1)}$$

a.2 De la combinación de agregados

$$G = \frac{1}{\frac{P1}{100G1} + \frac{P2}{100G2} + \ldots\ldots\ldots + \frac{Pn}{100Gn}} \qquad \text{(Ver Ec.15.4)}$$

SIMBOLOGIA

A	=	Peso al aire del material secado al horno, g.
B	=	Peso al aire del material, en condición Saturada Superficialmente Seca, g.
C	=	Peso Sumergido (en agua) del material SSS, g.
Gs(s)	=	Gravedad Específica Bulk, en base al peso A, sin unidades.
G1,G2,Gn	=	Gravedades Específicas de cada fracción de tamaño ensayada.
P1,P2,Pn	=	Porcentaje de cada fracción presente en la muestra original.
S	=	Peso de una muestra saturada con superficie seca, g (Normalmente, debido a la capacidad del picnómetro, se usa S = 500 g)

a.3 De cada especimen compactado

Se determina, registrando los siguientes pesos de los especímenes compactados. La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente :

$$GSb = \frac{A}{B - C} \times K \qquad \text{(Ec. V.8)}$$

K : Factor de corrección por temperatura = $\frac{\text{P.E.(agua a Tx)}}{\text{P.E.(agua a Ti)}}$ (Ec. V.9)

P.E.(agua a Tx) : Peso específico del agua a la temperatura de ensayo
P.E.(agua a Ti): Peso específico del agua a la temperatura base de ensayo

SIMBOLOGIA :

A : Peso seco del especímen al aire, g.
B : Peso saturado superficie seca del especímen, g.
C : Peso sumergido del especímen, g.

a.4 De la mezcla asfáltica suelta (Gravedad Específica Teórica Máxima)

La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente :

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E} \times K \qquad \text{(Ec. V.10)}$$

SIMBOLOGIA :

A : Peso seco de la muestra de mezcla suelta
D : Peso del picnómetro + Agua (a Tx de ensayo)
E : Peso del picnómetro + Agua (a Tx) + Muestra (a Tx)
K : Ver Ec. V.9 (Temperatura base 25°C)

b. Ensayo de Estabilidad y Flujo

Después que la Gravedad Específica Bulk de los especímenes compactados ha sido determinada, la Estabilidad y el Flujo son obtenidos, ensayando cada especímen de la siguiente manera :

b.1 Se prepara el baño María, de tal forma que el agua que contiene, alcance una temperatura de 60°C. Justamente en el momento en que se alcanzó esta temperatura, se introducen los especímenes compactados dentro de éste mismo, a partir de ese momento, se dejan bajo esas condiciones por un tiempo de 30 min (este tiempo podrá variar para el último especímen que se ensayará en Estabilidad-Flujo a 45 min. como máximo).

b.2 Durante transcurren los 30 min se prepara el molde partido de carga, calentándolo a 60°C dentro del horno.

b.3 Transcurridos los 30 min. se saca el primer especímen del baño María, se seca superficialmente con franela limpia y se coloca en esas condiciones, dentro del molde partido de carga. Este conjunto se posiciona sobre la base de ensayo del cargador (Master Loader), se ajustan el dispositivo de carga sobre el molde partido y el medidor de flujo sobre la barra guía (ambos deben indicar la posición cero).

b.3 Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una tasa constante de deformación de 50.8 mm/min (2 pul/min), hasta obtener la falla. La fuerza total en "lb" necesarios para producir la falla de la pastilla a 60 ± 1.1°C (140 ± 2°C) debe registrarse como valor Estabilidad Marshall.

b.4 Registrar las máximas lecturas de Estabilidad (carga en libras) y Flujo (en unidades de 1/100 pul).

c. Análisis de Densidad y Vacíos

Después de completar el ensayo de Estabilidad-Flujo, un análisis de densidad y vacíos, debe ser hecho sobre cada especímen ensayado. Este análisis consiste en las siguientes determinaciones :

c.1. Promedio de la Gravedad Específica Bulk (determinadas a través de la Ec. V.8) de todos los especímenes de prueba, pertenecientes a un contenido de asfalto dado.

c.2 Promedio de la Densidad Bulk (Db) por cada contenido de asfalto. Para esto se multiplica el promedio de la Gravedad Específica Bulk (determinado en "c.1") por el valor de la Densidad del agua (62.4 lb/pie^3).

$$Db = GSb \times 62.4 \text{ lb/pie}^3 \qquad \text{(Ec. V.11)}$$

c.3 Preparar un gráfico de Densidades Bulk vrs Contenido de Asfalto. Los puntos graficados deberán unirse con una curva suave, que se obtiene del mejor ajuste de todos los puntos ploteados. Leer la unidad de valores de peso directamente de la curva ploteada para cada prueba de contenido de asfalto y registrar los valores equivalentes de "Densidad Bulk dividiendo por 62.4 lb/pie^3 . Los valores de la Densidad Bulk así obtenidos serán usados en cálculos adicionales sobre los datos de vacíos.

Utilizando la Gravedad Específica Bulk de los agregados y la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta, se deben realizar los siguientes cálculos :

c.4 Promedio del Porcentaje de Vacíos (Pa) de todos los especímenes compactados.

$$Pa = \frac{Gmm - GSb}{Gmm} \times 100 \qquad \text{(Ec. V.12)}$$

En donde :

Gmm = Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta
Gsb = Gravedad Específica Bulk de especímenes compacatados

c.5 Promedio de los valores de VMA, de todos los especímenes compactados .

$$VMA = 100 - \left[\frac{Gsb \times Ps}{G} \right] \qquad \text{(Ec.V.13)}$$

En donde :

Gsb = Gravedad Específica Bulk de especímenes compactados
Ps = Porcentaje de agregados en la mezcla (Ps = 100 - %A) (Ec. V.14)
G = Gravedad Espeacífica Bulk de la combinación de agregados

c.6 Asfalto Efectivo (Ae) y Asfalto absorbido (Aa)

$$Ae = Gs_{(C.A)} \cdot \left[\frac{VMA - Pa}{Gsb} \right] \qquad \text{(Ec V.15)}$$

En donde :

$Gs_{(C.A)}$: Gravedad Específica del Cemento Asfáltico (Ver Ensayo N°25)
VMA : Vacíos en el agregado mineral
Pa : Porcentaje de Vacíos
Gsb : Gravedad Específica Bulk del especímen compactado

$$Aa = Gs_{(C.A)} \cdot \left[\frac{Gse - G}{Gse \cdot G} \right] \times 100 \qquad \text{(Ec. V.16)}$$

En donde :

Gse : Gravedad Específica Bulk efectiva de agregados

$$Gse = \frac{100 - \%A}{\frac{100}{Gmm} - \frac{\%A}{Gs_{(C.A)}}} \qquad \text{(Ec. V.17)}$$

En donde :

100 : Porcentaje equivalente al peso total de la mezcla suelta
%A : Porcentaje de asfalto total

V.3.7.5 Interpretación de los datos de ensayo

a. Preparación de datos

Los valores de estabilidad, flujo y vacíos son preparados como sigue :

a.1 Los valores de estabilidad medidos para especímenes con espesores distintos al considerado como estándar, 63.5 mm (2 1/2"), deberán ser convertidos a valores equivalentes al estándar, mediante el uso de un Factor de Correlación, esto es multiplicando el valor de la estabilidad obtenida por dicho factor. Estos factores de corrección son dados en la TABLA V.8 . Nótese que la conversión puede ser hecha en base al espesor o el volumen de cada especímen.

a.2 Promediar los valores de flujo y estabilidad corregida para todos los especímenes de un porcentaje de asfalto dado. Obviamente los valores dudosos no son incluidos durante la obtención de los promedios.

a.3 Preparar una gráfica separada para los siguientes valores :

a.3.1	Estabilidad	vs.	Contenido de Asfalto
a.3.2	Flujo	vs.	Contenido de Asfalto
a.3.3	Peso Unitario de la mezcla total	vs.	Contenido de Asfalto
a.3.4	Porcentaje de Vacíos de aire	vs.	Contenido de Asfalto
a.3.5	VMA	vs.	Contenido de Asfalto

b. Tendencias y relaciones de los datos de ensayo

Las curvas anteriormente indicadas, tienen que ser ploteadas para poder tener un modelo rasonablemente consistente de una mezcla asfáltica densa.

Las tendencias de los datos de ensayo, generalmente son las siguientes :

b.1 El valor de la estabilidad se incrementa con el incremento del contenido de asfalto hasta un valor máximo, luego comienza a decrecer al sobrepasar dicho valor.

b.2 El valor de flujo se incrementa con el incremento del contenido de asfalto.

b.3 La curva para el Peso Unitario de la mezcla total es similar a la curva de estabilidad, excepto que el Peso Unitario máximo normalmente ocurre (pero no siempre) con un valor ligeramente mayor de contenido de asfalto que el correspondiente para la máxima estabilidad.

b.4 El porcentaje de vacíos de aire decrese con el incremento del contenido de asfalto, hasta aproximarse a un valor mínimo.

b.5 El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), generalmente decrese a un valor mínimo para luego incrementarse a medida se incrementan los contenidos de asfalto.

TABLA V.8 Factores de Correlación de la Estabilidad Marshall. Fuente : Mix Design Methods for Concrete . ASPHALT INSTITUTE MS-2

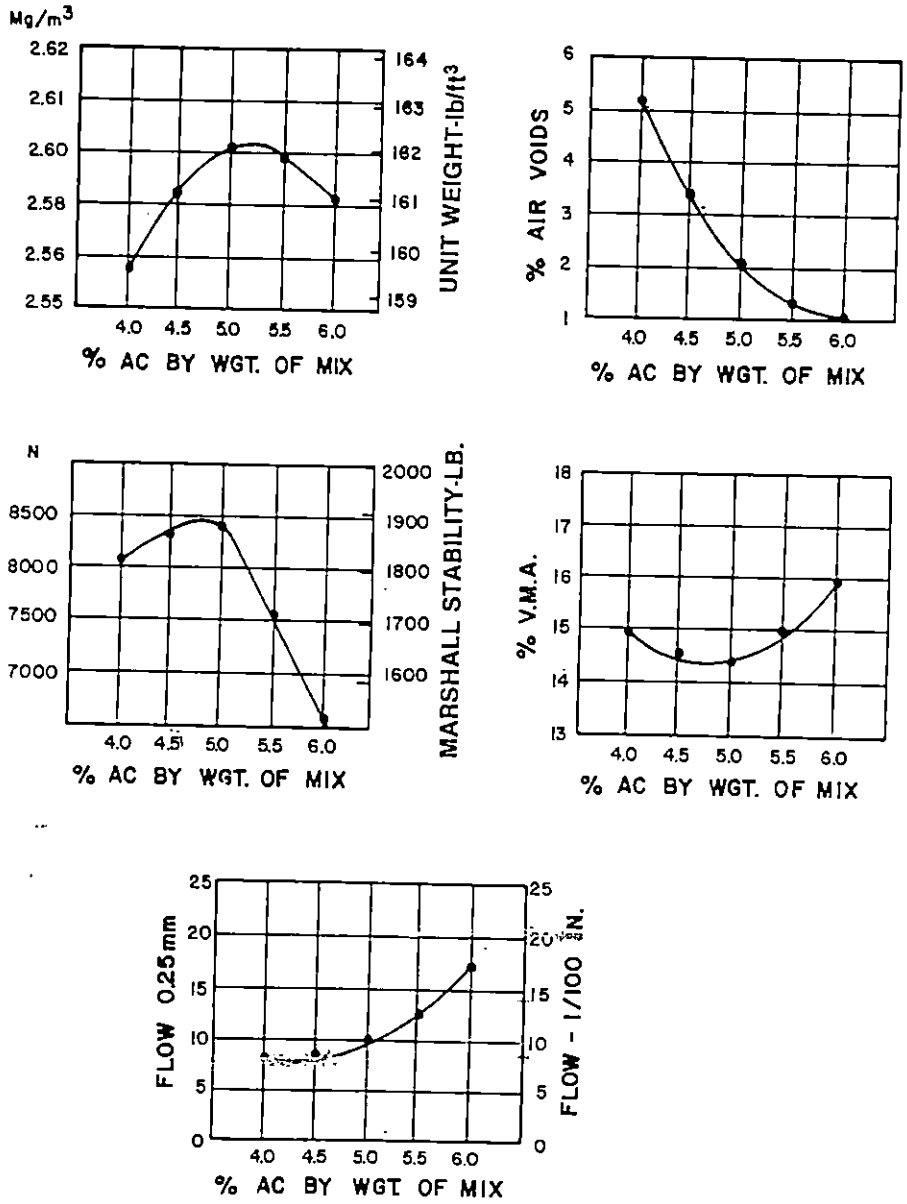
VOLUMEN DEL ESPECIMEN cm^3	ESPESOR APROXIMADO DEL ESPECIMEN Pulg	mm	FACTOR DE CORRELACION
200 to 213	1	25.4	5.56
214 to 225	1 1/16	27.0	5.00
226 to 237	1 1/8	28.6	4.55
238 to 250	1 3/16	30.2	4.17
251 to 264	1 1/4	31.8	3.85
265 to 276	1 5/16	33.3	3.57
277 to 289	1 3/8	34.9	3.33
290 to 301	1 7/16	36.5	3.03
302 to 316	1 1/2	38.1	2.78
317 to 328	1 9/16	39.7	2.50
329 to 340	1 5/8	41.3	2.27
341 to 353	1 11/16	42.9	2.08
354 to 367	1 3/4	44.4	1.92
368 to 379	1 13/16	46.0	1.79
380 to 392	1 7/8	47.6	1.67
393 to 405	1 15/16	49.2	1.56
406 to 420	2	50.8	1.47
421 to 431	2 1/16	52.4	1.39
432 to 443	2 1/8	54.0	1.32
444 to 456	2 3/16	55.6	1.25
457 to 470	2 1/4	57.2	1.19
471 to 482	2 5/16	58.7	1.14
483 to 495	2 3/8	60.3	1.09
496 to 508	2 7/16	61.9	1.04
509 to 522	2 1/2	63.5	1.00
523 to 535	2 9/16	65.1	0.96
536 to 546	2 5/8	66.7	0.93
547 to 559	2 11/16	68.3	0.89
560 to 573	2 3/4	69.8	0.86
574 to 585	2 13/16	71.4	0.83
586 to 598	2 7/8	73.0	0.81
599 to 610	2 15/16	74.6	0.78
611 to 625	3	76.2	0.76

c. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto (COA)

El COA de una mezcla asfáltica es determinado a partir de los datos obtenidos de tres de las curvas anteriormente descritas. Así el COA será determinado como el promedio de los contenidos de asfalto obtenidos para :

c.1 la máxima estabilidad.
c.2 el Peso Unitario máximo.
c.3 el promedio de los límites especificados para el Porcentaje de Vacíos de aire (el IA, recomienda cuatro (4) como promedio de 3 y 5).

Si asumimos como ejemplo los datos presentados en la GRAFICA V.1, los cuales representan los resultados obtenidos del ensayo de una mezcla asfáltica de gradación densa, con tamaño nominal máximo de 19.0 mm (3/4"), para ser usada un tráfico pesado, tendremos que el contenido óptimo de asfalto será el siguiente :



GRAFICA V.1 Curvas representativas de las propiedades obtenidas de un diseño de mezcla asfáltica en caliente, utilizando el método Marshall. Fuente: Métodos de diseño para mezclas de concreto asfáltico. Instituto del Asfalto (IA), MS-2

* Para máxima Estabilidad	.....	4.8
* Para Peso Unitário máximo	.....	5.1
* Para el promedio del rango de Pa	.....	4.3
Contenido de asfalto óptimo (COA)	.....	4.7

d. Criterios para la selección de una mezcla asfáltica satisfactoria.

La determinación del contenido de asfalto arriba ejemplificada, esta hecha aplicando ciertos criterios limitantes a los datos de ensayo para dicho contenido óptimo de asfalto. Los criterios de diseño proporcionados en la TABLA V.9 son recomendados por el Instituto del Asfalto (IA).

Un ejemplo de la aplicación de estos criterios puede ser hecha mediante el uso de los datos mostrados en la GRAFICA V.1 y la información escrita en el artículo **"b " (Tendencias y relaciones de los datos de ensayo).**

Si el COA se ha determinado como 4.7 %, las propiedades de la mezcla, determinadas de la GRAFICA V.1 seran las siguientes :

* Estabilidad	.....	1,880 lb
* Flujo	.....	9 x 1/100 pul (2.286 mm)
* Porcentaje de Vacíos de aire	.....	2.8
* VMA	.....	14.4

Al comparar estos resultados con los criterios de diseño dados en la TABLA V.8, notamos que :

* El valor de estabilidad excede el valor mínimo requerido para mezclas de base y superficie en la categoría de tráfico pesado.

* El valor del flujo está dentro del rango especificado (8 a 14 centécimas de pulgada ó 2 a 4 mm)

* El Porcentaje de vacíos en la mezcla total, sin embargo cae ligeramente por debajo del límite inferior (3), especificado en la tabla de criterios. Si se desea corregir ésto, ajustes pueden ser hechos, realizando modificaciones en la granulometría de trabajo (combinación de dos o tres agregados).

e. Selección del diseño de la mezcla.

El diseño de mezcla seleccionado, usualmente el más económico, es el que cumple

satisfactoriamente con los criterios de diseño que se establecen en las especificaciones de un proyecto específico de carreteras. Mezclas con valores anormalmente altos de estabilidad y flujo son frecuentemente menos deseables debido a que una vez colocadas, tienden a producir pavimentos muy rígidos o quebradizos, los cuales pueden fallar bajo volumenes de tráfico grandes pesados. Esto es particularmente cierto cuando la base y sub-base permiten deflexiones moderadas a relativamente altas del pavimento.
Los valores que se presentan en la TABLA V.9, son dados a la base de las siguientes consideraciones :

1. La selección del VMA mínimo está basado en los Vacíos de Aire para el Contenido de Asfalto de diseño.

2. Se ha considerado el criterio de los vacíos llenos de asfalto (Asfalto absorvido)

En el CUADRO V.1 se presenta el formato sugerido por el INSTITUTO DEL ASFALTO para la presentación de resultados del diseño Marshall

TABLA V.9 Criterios de diseño para mezclas asfálticas en caliente. Fuente : Métodos de diseño de mezclas para concreto asfáltico y otros tipos de mezclas en Scaliente. MS-2 , ASPHALT INSTITUTE (IA), 1992

CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS PARA EL METODO MARSHALL	TRAF. LIGERO		TRAF. MEDIO		TRAF.PESADO	
	BASE Y SUPERF.		BASE Y SUPERF.		BASE Y SUPERF.	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación, N° de golpes por cara de cada especímen·	35	---	50	---	75	---
Estabilidad, N (lb)	3336 (750)	---	5338 (1200)	---	8006 (1800)	---
Flujo, 0.25 mm (0.01pul)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje Vacíos de aire	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	VER TABLA V.10					
Porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

NOTAS :

1. Para el diseño de una pavimento asfáltico, deben ser considerados todos los criterios de esta tabla, no se justifica solamente el uso del criterio de la estabilidad. Las mezclas asfálticas en caliente para bases y superficies deben ser ensayadas para estabilidad-flujo a 140°F (60°C).

2. Clasificación del tráfico.

LIGERO	Condiciones de tráfico para un EAL (Diseño) < 10^4
MEDIO	Condiciones de tráfico para un EAL (Diseño) entre 10^4 y 10^6
PESADO	Condiciones de tráfico para un EAL (Diseño) > 10^6

3. El esfuerzo de compactación de laboratorio puede aproximarse lo más posible a la máxima densidad obtenida del pavimento en servicio.

4. El valor de flujo se referirá al punto en el cual la carga empieza a decrecer.

5. La porción de cemento asfáltico perdida por absorción (Aa) dentro del agregado debe ser tomada en cuenta para cuando se calcula el Porcaentaje de Vacíós de aire.

7. El Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA) debe ser calculado en base a la Gravedad Específica Bulk de el agregado.

TABLA V.10 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA) para diferentes Porcentajes de Vacíos de aire. Fuente : Métodos de diseño de mezclas para concreto asfáltico y otros tipos de mezclas en caliente. MS-2 , ASPHALT INSTITUTE (IA), 1992

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO DE LA PARTICULA (1)		VMA mínimo		
		Porcentaje de Vacíos de diseño(2)		
pul	mm	3.0	4.0	5.0
N°16	1.18	21.5	22.5	23.5
N°8	2.36	19.0	20.0	21.0
N°4	4.75	16.0	17.0	18.0
3 / 8	9.5	14.0	15.0	16.0
1 / 2	12.5	13.0	14.0	15.0
3 / 4	19.0	12.0	13.0	14.0
1.0	25.0	11.0	12.0	13.0
1.5	37.5	10.0	11.0	12.0
2.0	50.0	9.5	10.5	11.5
2.5	63.0	9.0	10.0	11.0

(1) El tamaño nominal máximo de las partículas se define como el tamaño de la primera malla en la que se retiene más del 10% del material ensayado.

(2) Interpolar los Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA) para el diseño de valores de Vacíos entre los listados anteriormente.

COMENTARIOS

a. Para registrar el peso seco al aire de cada especímen hasta peso constante, se pueden dejar al aire libre por 24 h o se introducen al horno por 1/2h a 60°C.

b. La razón por la que el ensayo de Estabilidad - Flujo se realiza cargando los especímenes en forma perpendicular a la de compactación, es que las mezclas asfálticas en servicio, fallan por dezplazamiento lateral inducido por las cargas verticales impuestas por el tráfico vehicular, por lo tanto se mide la resistencia que tienen estas, a fluir en el sentido perpendicular al que fueron compactados.

c. Mientras la prueba de estabilidad se desarrolla (si el medidor de flujo es del tipo "transductor" (no gráfico)), debe sujetarse el medidor de flujo en forma firme y vertical sobre la barra guía del molde partido, quitándolo en el momento en que la lectura indicada en el transductor, se mantiene constante. Si el medidor de flujo es gráfico, se deberá suspender la carga cuando la aguja indicadora marque una línea constante sobre el papel de "cargas vrs flujo.

d. En las lecturas de flujo, si la lectura es 0.15 pul, el valor del flujo será 15.

e. Los valores de Gravedad Especifica Bulk de los especímenes compactados, que difieran significativamente del resto determinado, no deben ser considerados para la determinación del promedio de los mismos.

f. Es recomendable que el contenido de asfalto de diseño se determine para un Porcentaje de Vacíos de aire de cuatro por ciento (4 %), el cual es el punto medio del rango especificado. Las propiedades de la prueba para este contenido de asfalto deben chequearse para asegurar que cumplen con todos los requerimientos prescritos en las especificaciones de proyecto.

g. El diseño de la mezcla asfáltica puede ser utilizado por el Laboratorio de la Supervisión, como parámetro de referencia con el cual se confronten los resultados obtenidos durante los ensayos realizados a los especímenes de mezcla asfáltica elaborados en campo, o a los núcleos extraídos de la mezcla asfáltica colocada.

h. Un diseño Marshall debe incluir un resumen de todos los parámetros importantes que se han incluido en los cálculos del mismo, como lo son el porcentaje óptimo de asfalto, la estabilidad y el flujo para este mismo, juntamente con su correspondiente porcentaje de vacíos, vacíos en el agregado mineral. Así también, es importante incluir la granulometría de trabajo que se ha obtenido de la combinación de agregados realizada con los agregados disponibles para el trabajo a desarrollar. En este mismo se debe incluir la especificación granulométrica que

debe cumplir la mezcla de agregados a combinar, ya que de esto dependerá el ajuste de la trituración de materiales en la planta de producción.

g. Durante la producción de la mezcla asfáltica, debe desarrollarse un control de sus principales propiedades; contenido de asfalto, granulometría, VMA, porcentaje de vacíos, etc. Esta actividad debe ser desarrollada por el laboratorio ubicado dentro de la misma planta de producción, ya que solo así se podrán hacer las correcciones necesarias para que la mezcla producida, posea las características que se han previsto en el diseño de la misma.

h. En la MEMORIA DE LA XI REUNION DE VIAS TERRESTRES, organizada por la ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES, celebrada en Morelia, Michoacán, México 1994, se expone EL SISTEMA SUPERPAVE(Superior Performing Asphalt Pavements), el cual consiste en el diseño de mezclas asfálticas más durables, de mejor calidad y con ahorros significativos a largo plazo. Se contempla en la metodología a una gran cantidad de mezclas tales como mezclas nuevas, de reciclado, densas, abiertas, modificadas, SMA (Stone Matrix Asphalt), etc....

A continuación se hace un cita de los aspectos más importantes de este sistema SUPERPAVE, tomada del texto INNOVACIONES TECNOLOGICAS EN VIAS TERRESTRES, XI REUNION DE VIAS TERRESTRES, organizada por la ASOCIACION MEXICANA DE INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES.

" El diseño de la mezcla se lleva a cabo para evitar lo siguiente :

* Formación de **Roderas (efectos de deformación acumulada)**
* Grietas de Fatiga
* Grietas de Contracción por bajas temperaturas

Considerando para ello :

* Envejecimiento
* Susceptibilidad a la humedad
* Pérdida de Adherencia

Superpave incluye en su metodología a los efectos del medio ambiente, tales como :

* Temperatura en el Medio Ambiente
* Grado de saturación en el Medio Ambiente

Para validad los métodos de prueba y las especificaciones de Superpave, se llevaron a cabo circuitos de prueba, asi como secciones reales de camino.

Superpave comprende un gran número de pruebas y especificaciones novedosas, así como programas de cómputo. La investigación masiva integral, llevada a cabo en SHRP ha logrado que se puedan aplicar especificaciones basadas en el comportamiento de los pavimentos. En un solo sistema analítico se incluyen 25 procedimientos y pruebas nuevas. Se ha ligado al diseño de la mezcla con el diseño estructural, lo que ha hecho posible producir (según SHRP) pavimentos con mejor comportamiento y costos efectivos más bajos.

Con los resultados obtenidos de novedosas pruebas basadas en el comportamiento real de los pavimentos y con los programas de cómputo de Superpave, se calcula el comportamiento esperado, para unas condiciones locales dadas en Estados Unidos y Canadá. Los usuarios pueden adaptar, según sus necesidades, las hojas de base de datos, de cálculo y de información general. El diseño de la mezcla, los análisis y los datos de prueba se pueden cargar en un disco, al que se lleva al Laboratorio de Campo, en donde se empleará toda esta información para monitorear el aseguramiento y Control de la Calidad, directamente en la obra.

Los métodos tradicionales de diseño de Mezclas Asfálticas (Marshall, Hveem, etc...) determinan límites aceptables para ciertas propiedades de las mezclas asfálticas, tales como estabilidad, flujo y relación de vacíos, las que solo tienen alguna, o talvez ninguna, relación con el comportamiento real de la mezcla en el pavimento.

En el sistema Superpave, se clasifica a los diferentes tipos de mezclas asfálticas, con base en valores y criterios de comportamiento real, en él se toma en cuenta a diferentes variaciones de temperatura y humedad esperadas, así como a los volúmenes de tránsito e intensidad de las cargas esperadas. Adicionalmente a la identificación de las propiedades de los materiales, relacionadas con los varios tipos de deterioros, las especificaciones de la mezcla definen las diferentes etapas para : la preparación del especímen (compactación), acondicionamiento (envejecimiento y acción de la humedad) y pruebas basadas en el comportamiento real. En ocasiones, Superpave proporciona guías para orientar a los productores de asfaltos y aditivos, para lograr que una mezcla mejore sus características de comportamiento. Las especificaciones se basan en teorías reconocidas que aplican relaciones esfuerzo-deformación de los materiales, así como criterios y propiedades a la falla, lo que permite predecir las características de deterioro.

El sistema Superpave de diseño de mezclas asfálticas provee un medio completo y muy amplio para diseñar mezclas con base en los requerimientos especificos de comportamiento definidos por el tránsito, el clima y la sección estructural del pavimento en una cierta localización. Se facilita, con este sistema, la selección y combinación de asfalto y agregado y, de ser necesario, de un aditivo para alcanzar el nivel requerido de

comportamiento en el pavimento. El sistema es aplicable tanto para mezclas densas en caliente vírgenes o recicladas.

Se manejan tres (3) diferentes niveles de diseño de la mezcla, en todos los cuales se incluye el diseño volumétrico, a saber :

* En el nivel 1, basta con aplicar especificaciones granulométricas y controles de tipo volumétrico.

* En el nivel 2, se llevan a cabo pruebas basadas en el comportamiento mecánico de las mezclas, para permitir la optimización del diseño de la mezcla para que resista a la deformación permanente y al agrietamiento por fatiga y/o bajas temperaturas. Las pruebas que se ejecutan en este nivel, se enfocan principalmente en proveer una estimación de la cantidad de deformación permanente y agrietamiento que ocurrirá probablemente durante la vida del pavimento.

* En el nivel 3, se utilizan pruebas adicionales que permiten una estimación más precisa de la deformación permanente y el agrietamiento por fatiga y baja temperatura.

Se espera que la mayoría del diseño de mezclas quede en el nivel 1, mientras que los niveles 2 y 3, sean utilizados para el diseño de mezclas de pavimentos con grandes cargas y de alta intensidad de repetición, o para secciones de pavimentos especialmente críticas.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO DE PAVIMENTOS

PROYECTO: Z-U

MEZCLA DE PRUEBA No: EJEMPLO

CUADRO V.I

ANALISIS DE MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO MARSHALL

MS 2 1988

LUGAR:

Po asfalto= 1.022

Po medio Aridos= 2.885

No.Lab. Asfalto:

No Lab. de Aridos:

MOLDE	Asf. % PESO ARIDOS	Asf. % PESO MEZCLA	ESPESOR ESPECIF. cm	MASA, g EN EL AIRE	MASA, g EN EL AGUA	MASA, g SSS EN AIRE	VOL. BULK cm3	Gs BULK MEZCLA	% VACIOS DE DE AIRE	% VACIOS EN ARIDOS VMA	PESO UNITARIO kg/m3	ESTABILIDAD MEDIDA LIBRAS	ESTABILIDAD FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD CORREG. LIBRAS	ESTABILIDAD CORREG. kg	FLUJO pulg /100	FLUJO mm
A		4.0		1,306.8	798.6	1,310.6	512.0	2.552				1790	1.00000	1790		8.0	
B				1,309.5	800.7	1,313.6	512.9	2.553				1810	1.00000	1810		8.0	
C				1,309.6	803.0	1,314.1	511.1	2.562				1850	1.00000	1850		8.0	
MEDIA								2.556	5.2	15.0	2,555.9			1817	824.0	8.0	3.1
CURVA																	
A		4.5		1,315.3	808.5	1,317.5	509.0	2.584				1900	1.00000	1900		8.0	
B				1,315.1	808.9	1,317.2	508.3	2.587				1735	1.03977	1804		10.0	
C				1,311.6	801.8	1,309.9	508.1	2.581				1810	1.03976	1882		8.0	
MEDIA								2.584	3.5	14.5	2,584.2			1862	844.6	8.7	3.4
CURVA																	
A		5.0		1,320.1	812.7	1,320.7	508.0	2.599				1875	1.00000	1875		11.0	
B				1,318.1	811.3	1,318.4	507.1	2.599				1900	1.04000	1976		10.0	
C				1,318.7	811.4	1,319.1	507.7	2.597				1740	1.04023	1810		10.0	
MEDIA								2.598	2.1	14.5	2,598.4			1887	855.9	10.3	4.1
CURVA																	
A		5.5		1,320.5	811.6	1,320.6	509.0	2.594				1785	1.00000	1785		13.0	
B				1,326.1	814.9	1,326.2	511.3	2.594				1685	1.00000	1685		14.0	
C				1,324.2	814.8	1,324.4	509.6	2.599				1685	1.00000	1685		13.0	
MEDIA								2.595	1.4	15.0	2,595.5			1718	779.4	13.3	5.2
CURVA																	
A		6.0		1,327.6	813.7	1,327.6	513.9	2.583				1490	1.00000	1490		17.0	
B				1,330.7	815.6	1,330.9	515.3	2.582				1440	1.00000	1440		17.0	
C				1,329.3	814.4	1,329.3	514.9	2.582				1580	1.00000	1580		17.0	
MEDIA								2.582	1.1	15.9	2,582.5			1503	681.9	17.0	6.7
CURVA																	

CALCULO:

FECHA: 27-Jan-97

MARSHALL01

V.4 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL UTILIZANDO EL METODO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI).

V.4.1 Generalidades.

El objetivo en el diseño de mezclas de concreto hidráulico, es determinar la combinación más económica y práctica de materiales disponibles para producir un concreto que satisfaga los requerimientos que se presentan bajo condiciones particulares de uso. Para cumplir completamente objetivo, un proporcionamiento apropiado de concreto debe poseer las siguientes cualidades :

a. Aceptable trabajabilidad del concreto en estado fresco.
b. Durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido.
c. Economía.

El entendimiento de los principios básicos del diseño de mezclas es muy importante dentro de los cálculos actuales requeridos. Solamente con una selección apropiada de materiales y un proporcionamiento adecuado de los mismos, se lograrán las características deseadas en la mezcla de concreto elaborada.

V.4.2 Selección de las características de la mezcla.

Antes de proporcionar una mezcla de concreto, deberán seleccionarse las características de la misma. Esto deberá estar en función del uso que se le pretende dar a la mezcla, las condiciones de exposición, el tamaño y la forma de la estructura a elaborar y las propiedades físicas del concreto (tal como esfuerzo) requeridas por la estructura. Una vez las características han sido seleccionadas, la mezcla puede ser proporcionada a partir de datos de campo o de laboratorio. Puesto que muchas de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen primordialmente de la calidad de la pasta de cemento, el primer paso en el proporcionamiento de una mezcla de concreto hidráulico es la selección de la apropiada relación agua-cemento (A/C) y el esfuerzo necesitado. Las mezclas de concreto deberán ser tan simples como sea posible, dado que un excesivo número de ingredientes dificultan su control.

V.4.3 Relación entre el esfuerzo y la relación agua-cemento.

Debido a la facilidad con la que puede ser determinado, el esfuerzo a la compresión del concreto es la medida universalmente usada para medir la calidad del concreto hidráulico. Aunque ésta es una característica importante, otras propiedades tales como la durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste deben considerarse como igual o más importantes.

Dentro del rango normal de esfuerzos en construcciones de concreto hidráulico, el esfuerzo a la compresión es inversamente proporcional a la relación agua-cemento, así, para concreto completamente compactado hecho con agregados sanos y limpios, el esfuerzo y otras propiedades deseadas del concreto bajo condiciones de trabajo dadas, son gobernados por la cantidad de agua de mezcla usada por unidad de cemento.

Siempre ha sido un acuerdo, que la relación del agua al cemento es el factor que más interviene en la resistencia del concreto. El significado de la cantidad de agua sobre la resistencia es un parámetro propuesto por D.A. Abrams,(***Design of Concrete Mixtures, Bulletin N° 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1918***)

La resistencia de la pasta de cemento dentro del concreto depende de la calidad y cantidad de los componentes reactivos y de la rapidez con que la reacción de hidratación es completada.

Diferencias en la resistencia para una relación agua-cemento dada, puede ser el resultado de cambios en el tamaño del agregado, gradación, textura de la superficie, forma, esfuerzo y rigidez.

V.4.4 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión especificada a los 28 días, f'c, es aquella que se espera que sea igualada o excedida por el promedio de cualquier grupo de tres ensayos consecutivos o aquella respecto a la cual, ningún resultado individual (promedio de dos ensayos consecutivos) de la prueba de resistencia a la compresión, podrá ser menor en más de 35 Kg / cm^2 (500 PSI), cuando los especímenes son curados bajo condiciones de laboratorio para una clase individual de concreto.

La resistencia promedio debe igualarse a la resistencia especificada más una tolerancia dada por variaciones en los materiales, en los métodos de mezclado, transportación, curado y ensayos de cilindros de concreto.

La Resistencia Promedio a la Compresión Requerida del concreto, es aquella que se usa como base para el proporcionamiento del concreto y cuyo valor es el mayor de los obtenidos mediante las Ec. V.18 y V.19, empleando una desviación estándar la cual se calculará dependiendo si existe o no un registro consecutivo de ensayos de resistencia a la compresión del concreto.

$$f'cr = f'c + 1.34\ S \qquad \text{(Ec.V.18)}$$
$$f'cr = f'c + 2.33\ S - 35 \qquad \text{(Ec.V.19)}$$

Esta desviación estándar (S), esta en función del número de ensayos consecutivos con que cuente los registros de resistencia a la compresión, así :

a. Si las instalaciones de producción de concreto llevan registros de las pruebas, en un número mayor de 30, debe establecerse la desviación estándar a través de la Ec. V.20 cuando un solo registro de datos contiene los datos de resistencia requeridos (> 30) y a través de la Ec. V.21 cuando se utilizan dos registros para obtener por lo menos 30 ensayos de resistencia.

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (Xi - X)^2}{n - 1}} \qquad \text{(Ec. V.20)}$$

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) (S_1)^2 + (n_2 - 1) (S_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \qquad \text{(Ec.V.21)}$$

En donde :

S	=	Desviación Estándar
S	=	Promedio estadistico de desviación cuando son usados dos registros para estimar la Desviación Estándar
S_1, S_2	=	Desviaciones Estándars calculadas a partir de dos registros de ensayos, 1 y 2 respectivamente.
Xi	=	Resultado individual de resistencia (promedio de dos cilindros a los 28 días)
X	=	Promedio de *n* resultados de ensayos de resistencia
n	=	Número de ensayos de resistencia consecutivos, para un solo registro
n_1, n_2,	=	Número de ensayos ensayos de resistencia consecutivos pertenecientes a los registros 1 y 2, respectivamente

Cuando las producción de concreto no cumple con que la resistencia o resistencias especificadas f'c , esté dentro de 70 Kg/ cm^2 de la estipulada para la obra propuesta y se lleva un registro basado en 15 a 29 pruebas consecutivas, se establecerá una Desviación Estándar como el producto de la Desviación Estándar calculada y el factor de modificación de la TABLA V.11

TABLA V.11 Factor de modificación para la Desviación Estándar cuando se dispone de menos de 30 pruebas. Fuente : Building Code and Commentary (Revised 1992). ACI 318-89/318R-89.

N° de pruebas	Factor de modificación para la Desviación Estándar
Menos de 15	Emplear la TABLA V.12
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

TABLA V.12 Resistencia promedio a la compresión requerida(f'cr) cuando no hay datos disponibles para establecer una Desviación Estándar (S). Fuente : Building Code and Commentary (Revised 1992). ACI 318-89/318R-8

Resistencia a la compresión especificada, f'c (Kg / cm^2)	Resistencia promedio a la compresión requerida, f'cr (Kg / cm^2)
Menos de 210	f'c + 70
De 210 - 350	f'c + 85
Más de 350	f'c + 100

V.4.5 Relación Agua-Cemento

La relación Agua-Cemento (A/C) es simplemente el peso del agua dividido por el peso del cemento. La relación A/C seleccionada para el diseño de mezclas debe ser el valor más bajo requerido para que el concreto elaborado soporte las condiciones de exposición consideradas. Las TABLAS V.13 y V.14 son una guía para la selección de la relación A/C para varias condiciones de exposición.

Cuando la durabilidad no será controlada, la relación A/C deberá ser seleccionada sobre la base de la resistencia a la compresión del concreto. En estos casos la relación A/C y el proporcionamiento de la mezcla para la resistencia requerida deberán basarse

en un adecuado registro de datos de campo o mezclas de prueba hechas con materiales actuales de trabajo elaboradas con el propósito de determinar la relación entre A/C y la resistencia. La TABLA V.15 puede ser usada para seleccionar una relación A/C con respecto al promedio de la resistencia requerida f'cr, para mezclas de prueba cuando no se dispone de otros datos. La TABLA V.16 puede ser usada solamente con autorización del Ingeniero de Proyecto (Supervisor) cuando datos pasados no están disponibles y las mezclas de prueba aún no han sido hechas.

TABLA V.13 Máxima relación A/C para varias condiciones de exposición. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Condiciones de Exposición	Máxima relación A/C por peso para concreto de peso normal	Concreto de agregado ligero, f`c mínima Kg/cm^2
Concreto que se pretenda tenga baja permeabilidad cuando se expone al agua	0.50	260
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda : codones, cuneta guardacarriles o secciones delgadas	0.45	300
Para proteger de la corroción concretos reforzados expuestos a sales descongelantes agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	0.40*	330

NOTA : * Cuando el recubrimiento mínimo del concreto requerido por la Sección 7.7, ACI 318 se incrementa 1.27 cm, la relación A/C se puede aumentar a 0.45 para concreto normal, o reducir su f`c a 300 Kg/cm^2 para concreto ligero.

TABLA V.14 Requisitos para concreto expuesto a soluciones que contienen sulfatos. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Exposición a sulfatos	Sulfato acuo-soluble (SO_4) en el suelo. Porcentaje por peso	Sulfato SO_4 en el agua, ppm	Tipo de cemento	Concreto de agregado normal	Concreto de agregado ligero
				Relación máxima A/C por peso	Resistencia a la compresión f``c mínima Kg/cm^2
Insignificante	0.00-0.10	0 - 150	---	---	----
Moderada *	0.10-0.20	150-1500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM), (MS), I(SM), (MS)**	0.50	260
Severa	0.20-2.00	1500-10000	V	0.45	300
Muy severa	> 2.00	> 10000	V más puzolana	0.45	300

NOTAS : * Agua de mar
** Ver Design and Control of Concrete Mixtures, PCA para tipos de cemento

TABLA V.15 Relaciones típicas entre la resistencia a la compresión y la relación A/C del concreto. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Resistencia a la compresión requerida, f'cr, a los 28 días, Kg/cm^2	Relación A/C por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
423	0.41	---
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

TABLA V.16 Relaciones A/C máximas permisibles para concreto cuando no se dispone de datos de resitencia por experiencias de campo o por mezclas de pruebra. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Resistencia a la compresión especificada, f'c, a los 28 días (Kg/cm^2)*	Relación A/C por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	^*
350	^*	^*

* Resistencia a los 28 días. Con la mayoría de materiales las relaciones mostradas A/C producen resistencias promedio mayores que las indicadas como necesarias, calculadas según la Ec. V.18 y V.19

^* Para resistencias mayores de 315 Kg/cm^2 (concreto sin aire incluido) y de 280 (con aire incluido), las dosificaciones del concreto deben establecerse de acuerdo con procedimientos que sean en base a experiencia de campo y/o mezclas de prueba.

V.4.6 Agregados

Dos características de los agregados tienen gran influencia en el proporcionamiento de mezclas de concreto, debido a que las mismas afectan la trabajabilidad del concreto fresco. Estas son :

1. Gradación (Distribución y tamaño de las partículas, es decir, Granulometría).
2. Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura de la superficie).

La granulometría es importante para lograr una mezcla económica ya que afecta a la cantidad de concreto que se elaborará, con una cantidad dada de agua y cemento.

Agregados gruesos deben ser gradados en base al tamaño máximo que se posea, para las condiciones reales de trabajo. El tamaño máximo del agregado a utilizar dependerá del tamaño y forma del miembro de concreto a construir y de la cantidad de acero de refuerzo que tendrá dicho miembro. El tamaño máximo nominal del agregado grueso no será superior a :

a. 1/5 de la separación menor entre los dados de la cimbra, ni de
b. 1/3 del peralte de la losa, ni de
c. 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos de presfuerzo.

La cantidad de agua de mezclado requerida para producir un metro cúbico de concreto con un revenimiento dado, depende del tamaño máximo, la forma y cantidad existente de agregado grueso. Tamaños grandes minimizan el agua de mezclado, reduciendo la cantidad de cemento requerida. Por otro lado, agregados redondeados requieren menos agua que agregados triturados en concretos de igual revenimiento.

El tamaño máximo del agregado grueso que será para producir concreto de máxima resistencia para un contenido de cemento dado depende sobre todo de la fuente de agregados así como de su forma y gradación.

La gradación más deseable en el agregado fino dependerá sobre todo del tipo de trabajo, los alcances de la mezcla y el tamaño del agregado grueso. Cuando se deseen mezclas delgadas con buena trabajabilidad, será conveniente una arena con bajo Módulo de Finura . El volumen de agregado grueso puede ser determinado a partir de la TABLA V.17 .

V.4.7 Aire incluido.

El aire incluido debe ser usado en todo concreto que estará expuesto al congelamiento y descongelamiento y peligrosidad química, así como también cuando se desee mejorar la trabajabilidad del concreto a elaborar.

En nuestro medio comúnmente se diseñan mezclas de concreto hidráulico sin aire incluido y se usa la TABLA V.18 para determinar aproximadamente el agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaño máximo de agregado grueso.

TABLA V.17 Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Tamaño máximo del agregado, mm(pul)	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2")	0.77	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.87	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29M-90, ENSAYO 17 de este Manual. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de Pavimentos Rígidos, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente.

TABLA V.18 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Revenimiento, pul	Agua, Kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado*							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2" **	3"	6"
	Concreto sin aire incluido							
1 a 2	205	200	185	180	160	155	145	125
3 a 4	225	215	200	195	175	170	160	140
6 a 7	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Revenimiento, pul	Concreto con aire incluido							
1 a 2	180	175	165	160	145	140	135	120
3 a 4	200	190	180	175	160	155	150	135
6 a 7	215	205	190	185	170	165	160	---
Promedio recomendado del contenido del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición :								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

** Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 1 1/2" (40mm) están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de éste tamaño, mediante tamizado húmedo.

V.4.8 Revenimiento

El concreto siempre debe ser hecho con una trabajabilidad, consistencia y plasticidad apropiado para condiciones de trabajo. La Trabajabilidad es una medida de la facilidad o dificultad con que el concreto puede ser colocado, consolidado y acabado. La Consistencia es la habilidad de la mezcla de concreto fresco para fluir. La plasticidad

determina la facilidad del concreto a ser moldeado. Si se usan demasiados agregados o si menos agua es suministrada a una mezcla de concreto, ésta será mayormente rígida (menos plástica y menos trabajable) y con dificultad para moldearse.

El ensayo de Revenimiento es un una medida de la consistencia del concreto fresco. Para proporcionamientos dados de cemento y agregados sin mezclado, el revenimiento más alto de la mezcla será obtenido con la mayor cantidad de agua posible. El revenimiento es un indicativo de la trabajabilidad cuando se valoran mezclas similares.

Diferentes revenimientos son necesarias para varios tipos de construcciones de concreto. El revenimiento es usualmente indicado en las especificaciones de trabajo en forma de rango, tal como de 2 a 4 pul., o como un valor máximo que no puede ser excedido. Cuando éste no es especificado, un valor aproximado puede ser seleccionado a partir de la TABLA V.19, para concreto consolidado mediante vibración mecánica. Para ajustes de bachadas, el revenimiento puede ser incrementado hasta una (1) pulgada, agregándole 3.5 Kg de agua por metro cúbico de concreto.

TABLA V.19 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción. Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Tipo de Construcción	Revenimiento, pul	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	3	1
Zapatas y muros de subestructura sencillos	3	1
Vigas y muros reforzados. Columnas para edificios	4	1
Pavimentos y losas	3	1
Concreto masivo	2	1

* Pueden incrementarse en 1" cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

A menos que otras tolerancias en el revenimiento sean incluidas en las especificaciones de proyecto, las mostradas en la TABLA V.20, deberán ser usadas cuando dichas especificaciones son escritas como " requerimiento máximo" .

TABLA V.20 Tolerancias para el revenimiento cuando es especificado como "requerimiento máximo". Fuente : ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS, C 94-94.*

Variación	Revenimiento < 3 pul	Revenimiento > 3 pul
Sobre el valor	0	0
Bajo el valor	1 1/2"	2 1/2"

* Esta opción es para ser usada solamente si una adición de agua es permitida sobre la provista en la mezcla de trabajo, la cual no modifica la relación A/C por sobre el máximo permitido por las especificaciones.

Cuando las especificaciones de proyecto para revenimiento no son escritas como un máximo, las siguientes tolerancias de la TABLA V.21 deberán ser usadas.

TABLA V.21 Tolerancias para revenimientos nominales cuando no es especificado como "requerimiento máximo".Fuente : ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS, C 94-94.

Para revenimiento especificado	Tolerancia
≤ 2"	± 1/2"
2" a 4"	± 1"
≥ 4"	± 1 1/2"

V.4.9 Contenido de agua

El Contenido de agua es influenciado por un número de factores : Tamaño y forma de los agregados, revenimiento, relación A/C, contenido de aire, contenido de cemento, condiciones de mezclado y ambientales.

La demanda de agua se reduce al

a. incrementar el contenido de aire y el tamaño del agregado.
b. reducir la relación A/C y el revenimiento
c. usar agregados redondeados
d reducir el agua de mezclado

Por otro lado, la demanda de agua se incrementa al

a. incrementarse la temperatura
b. incrementarse el contenido de cemento
c. incrementarse el revenimiento
d. incrementarse la relación A/C
e. incrementarse la angulosidad de los agregados
f. disminuir la proporción de agregados gruesos y aumentar la de finos

V.4.10 Contenido de cemento

El contenido de cemento es usualmente determinado a partir de la selección de la relación A/C y el contenido de agua, aunque un mínimo contenido de cemento frecuentemente es incluido en las especificaciones en adición a una máxima relación A/C. El mínimo cemento requerido sirve para asegurar una satisfactoria trabajabilidad y acabado, desarrollar resistencia al desgaste de losas y adecuada apariencia de superficies verticales.

Para lograr el acabado, la resistencia a la abrasión y la durabilidad en superficies planas, la cantidad de cemento a ser usada, debe ser no menos de los valores mostrado en la TABLA V.22.

V.4.11 Aditivos

Reductores del agua de mezclado son adicionados para reducir la relación A/C o para mejorar la trabajabilidad de un concreto sin cambiar dicha relación. Los reductores del agua de mezclado, usualmente reducen el contenido de agua entre el 5 al 10% y aumentan respectivamente el contenido de aire al 0.5 a 1.0%.

Reductores de alto rango del agua de mezclado (superplastificadores) reducen el contenido de agua entre el 12% al 30%, algunos pueden simultáneamente incrementar el contenido de aire hasta en un 1%; otros pueden reducirlo o no afectarlo.

TABLA V.22 Cemento mínimo requerido para concreto de peso normal usado en superficies planas.Fuente : Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association, Thirteenth Edition.

Tamaño máximo del agregado, pul	Cemento, Kg de cemento por m^3 de concreto
1 1/2	280
1	310
3/4	321
1/2	350
3/8	360

Para obtener economía, el proporcionamiento debe minimizar la cantidad de cemento requerida sin sacrificar la calidad del concreto.

V.4.12 Proporcionamiento

Los métodos de proporcionamiento han sido desarrollados paulatinamente a partir de los años 1900. Primeramente se desarrolló el Método de Proporcionamiento Volumétrico Arbitrario el cual consiste en proporcionar el cemento, la arena y el agregado grueso en cantidades volumétricas establecidas, como por ejemplo, 1 : 2 : 3. Luego el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) desarrolló los métodos de Pesos y Volúmenes Absolutos, los cuales se pueden encontrar en el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE'S COMMITTEE 211, STANDARD PROPORTIONING CONCRETE MIXES. El método de proporcionamiento por Pesos Absolutos es muy simple y rápido para estimar el proporcionamiento de la mezcla. Este usa un peso asumido o conocido de concreto por unidad de volumen. Un método más preciso es el de Volúmenes Absolutos, el cual incluye el uso de los valores de la Gravedad Específica (Gs) de todos los componentes, con el fin de determinar el volumen absoluto que ocupará cada uno de estos, dentro de un volumen de concreto.

En este trabajo, se desarrollará este último método, ya que es el que más se ajusta a los propósitos que se pretenden en este mismo.

El proporcionamiento de una mezcla de concreto puede ser realizado a partir de:

a. Registros de datos de campo
b. Mezclas de prueba

a. Proporcionamiento a partir de registro de datos de campo

Un diseño de mezcla que se está utilizando o que ha sido usada, puede usarse para un nuevo proyecto de mezcla, si los datos de ensayos de Resistencia y de Desviación Estándar (S), muestran que la mezcla es aceptable. Los aspectos de durabilidad también deberán ser previamente conocidos.

Los datos estadísticos deberán esencialmente representar los mismos materiales, proporciones y condiciones para las cuales se pretende usar el concreto, en el nuevo proyecto. Los datos usados para el proporcionamiento deberán además ser de un concreto con una f´c dentro de los 70 Kg/cm^2 de la Resistencia Requerida, f´cr, para el propósito del trabajo. Además, los datos deberán representar por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos totalizando por lo menos 30 ensayos (un ensayo es el promedio los resultados obtenidos de ensayar a la compresión dos cilindros, de la misma muestra de concreto). Si solamente se dispone de 15 a 29 ensayos consecutivos, deberá realizarse un ajuste en la Desviación Estándar (S) multiplicando el valor obtenido a partir de las Ec. V.20 ó V.21 por el factor correspondiente, indicado en la TABLA V.11. Los datos deben representar 45 ó más días de ensayo.

La Desviación Estándar (S), calculada o modificada es entonces utilizada para calcular la Resistencia Promedio a la Compresión Requerida del concreto mediante las Ec. V.18 ó V.19 .

Cuando no se dispone de registros de ensayos de Resistencia, la f´cr puede ser obtenida a partir de la TABLA V.12. Puede ser usado un registro de Resistencias de campo,(varios registros de ensayos de Resistencia) o ensayos de mezclas de prueba, tal que muestre que el promedio de la Resistencia f´c es igual o mayor que f´cr .

Si menos de 30 pero no menos de 10 ensayos son disponibles, los ensayos pueden ser usados para obtener el promedio de la resistencia, solo si el período de registro no es menor de 45 días.

Si la Resistencia promedio de las mezclas con los datos estadísticos es menor de f´cr, o los datos estadísticos o registros de ensayos son insuficientes o no están disponibles, se puede proporcionar la mezcla usando el método de Proporcionamiento usando Mezclas de Prueba.

b. Proporcionamiento a partir de mezclas de prueba

Cuando los registros de ensayos de campo no existen o son insuficientes, el proporcionamiento de una mezcla de concreto puede realizarse a partir de mezclas de

prueba. Esta mezclas deben usar los mismos materiales que se proponen usar en el trabajo para el cual se proporcionará la mezcla. Deberán elaborarse Tres (3) mezclas con tres diferentes relaciones A/C o Contenido de Cemento para producir un rango de Resistencias que se acerque a f´cr. Las mezclas de prueba deberán tener un Revenimiento y Contenido de Aire dentro de ± 0.75 pul y ±0.5%, respectivamente de los valores máximos permitidos o descritas en las especificaciones de proyecto. Tres cilindros por relación A/C deberán ser hechos y curados de acuerdo a ASTM C 192-90a, después de lo cual deberán ser ensayados a la compresión a los 28 días o a la edad que se designe en las mismas especificaciones. Los resultados de ensayo, son ploteados para producir una curva de Resistencia vrs Relación A/C, la cual puede ser usada para proporcionar una mezcla.

Un número de diferentes métodos de proporcionamiento de ingredientes para concreto hidráulico han sido usados individualmente, incluyendo dentro de estos :

Proporcionamiento volumétrico arbitrario (ej , 1: 2 : 3)
Relación de Vacíos
Módulo de Finura de la arena
Area superficial de agregados
Contenido de Cemento

Cada uno de estos métodos puede producir aproximadamente la misma mezcla final después de que se han hecho los ajustes de campo necesarios. La mejor aproximación es para seleccionar las proporciones basadas en experiencias pasadas y datos de ensayos confiables con una relación definida entre la Resistencia y la relación A/C. Las mezclas pueden ser bachadas relativamente pequeñas hechas con presición de laboratorio o bachadas con el tamaño de trabajo hechas durante el curso de la producción normal de concreto. El uso de ambos es frecuentemente necesario para el logro de una mezcla de trabajo satisfactoria.

Los siguientes parámetros deben ser seleccionados antes de entrar al proporcionamiento:

Resistencia Requerida
Mínimo Contenido de Cemento o Máxima relación Agua - Cemento (A/C)
Tamaño máximo del agregado
Contenido de aire
Revenimiento deseado

Las bachadas de prueba son entonces elaboradas variando las cantidades relativas de agregado grueso y fino, así como también los otros ingredientes. Basado en consideraciones de trabajabilidad y economía, las proporciones de la mezcla son seleccionadas.

V.4.13 Mediciones y Cálculos

El ensayo de revenimiento, Contenido de aire y Temperatura pueden ser hechas sobre mezclas de prueba, sobre las cuales se deberán realizar las siguientes mediciones y cálculos :

a. Peso Unitario y Producción

El Peso Unitario del concreto fresco es expresado Kg / m^3 (lb/ pie^3). La producción es el volumen de concreto fresco producido en una bachada. Es usualmente expresado en m^3 (pie^3). La producción es calculada dividiendo el peso total de los materiales de la bachada por el Peso Unitario del concreto fresco.

b. Volumen Absoluto (V.A.)

El volumen (producido) de concreto fresco es igual a la suma del volumen absoluto del cemento, agua (excluyendo la que está dentro de los poros del agregado), agregados, aditivos cuando se aplican y aire. El Volumen Absoluto es calculado a partir del Peso y la Gravedad Específica de un material, como sigue :

$$V.A. = \frac{\text{PESO DEL MATERIAL}}{\text{GRAVEDAD ESPECIFICA} * \text{PESO UNITARIO DEL AGUA}} \qquad \text{(Ec. V.22)}$$

Un valor de 3.15 puede ser usado como Gravedad Específica del cemento Portland. La Gravedad Específica del agua se considerará como 1.000 y el Peso Unitario del agua se considerará que es 1000 Kg / m^3 . La Gravedad Específica del agregado de peso normal usualmente está en el rango de 2.400 a 2.900. La Gravedad Específica se usa en condiciones bulk, es decir, Gravedad Específica Bulk del agregado en condición Saturado Superficialmente Seco (SSS).

Las Gravedades Específicas de aditivos, tales como reductores de agua o de materiales finamente divididos deberán ser consideradas. El Volumen Absoluto es usualmente expresado en m^3 ó pie^3 . El Volumen Absoluto del aire atrapado en el concreto, expresado en metros cúbicos de aire por metro cúbico de concreto (o pie cúbico de aire por yarda cúbica de concreto), es igual al porcentaje de Contenido de aire dividido por 100 (ej, 7% / 100) y multiplicado este resultado por el volumen de la bachada de concreto preparada.

El volumen del concreto en la bachada puede ser determinado mediante dos métodos:

1. A través del conocimiento de la Gravedad Específica de los agregados y el cemento .

2.. Si se desconoce la Gravedad Específica o varía significativamente, se determina dividiendo el Peso Total de los materiales en la mezcla por el Peso Unitario del concreto .

En algunos casos, ambas determinaciones son hechas, una sirve para verificar la otra.

V.4.14 Ejemplo del proporcionamiento de una mezcla utilizando el método de Volúmenes Absolutos.

a. Elección de materiales pétreos

Antes de iniciar el proceso de diseño, se procede a revisar cuales agregados se ajustan a los requerimientos establecidos en cuanto a Granulometría, Módulo de Finura, Gravedad Específica, Absorción, Sanidad y otras características establecidas en el estándar ASTM C 33-90. Se elegirán aquellos que más se ajuste o se aproxime a aquellos valores especificados.

Granulométricamente se elegirán aquellos materiales gruesos que se aproximen lo mejor posible al centro de los rangos de la especificación respectiva. Si ninguno se ajusta, será necesario realizar una combinación de materiales gruesos, utilizando el método de Pesos Volumétricos descrito en la Sección V.2 de este Capítulo. Por su parte para la arena, se elegirá aquella que como se dijo, se ajuste mejor a las especificaciones de proyecto. Así también la arena podrá ser discriminada en función de su Módulo de Finura (MF) y el Contenido de Partículas Suaves (Ver Comentarios)

b. Condiciones de los materiales

Los materiales con los cuales se trabajará este diseño se han seleccionado confrontando sus características con las especificaciones correspondientes para cada una de estas, así se elaborará el diseño con los materiales que a continuación presentan sus características principales :

	ARENA	GRAVA#1
* P.V.S. (KG/M^3)	1295	1435
* P.V.V. "	1356	1558
* Gravedad Específica	2.57	2.64
* Módulo de Finura.	2.6	----
* Absorción (%A)	1.3	2.03

* Humedad de campo (%W).	1.2	1.3
* % Arena y Grava.....	3.78	96.22
* Tamaño Máximo del agregado	-----	19 mm (3/4")

c. Especificaciones

El concreto es requerido para una losa de pavimento reforzada que estará expuesta a la humedad natural del suelo. Se requiere una resistencia a la compresión a los 28 días (f'c) igual a 250 Kg/cm^2 (3500 psi) usando un cemento Portland Tipo I. El espesor de la losa será de 15 cm (4.7 pul) y un recubrimiento mínimo del acero de refuerzo de 4.0 cm (1.6 pul). La separación mínima del acero de refuerzo es 10.16 cm (4.0 pul).
El concreto será colocado aplicando vibración mecánica. No se considerará la inclusión de aire por medio de aditivos, ni se cuenta con datos estadísticos sobre mezclas anteriores.

A partir de esta información, la tarea es proporcionar una mezcla de prueba tal que se encuentre sobre las especificaciones y sea apropiada para las condiciones de exposición propuestas.

d. Establecimiento de valores bases

Para la obtención de resultados satisfactorios, se seguirá la secuencia que a continuación se presenta.

d.1 Determinación de la Resistencia Promedio a la Compresión Requerida del concreto (f'cr)

Dado que no existe un registro estadístico de datos de resistencia, la f'cr se obtiene según la TABLA V.12. Así por lo tanto :

$$f'cr = 250 + 85 \ Kg/cm^2$$

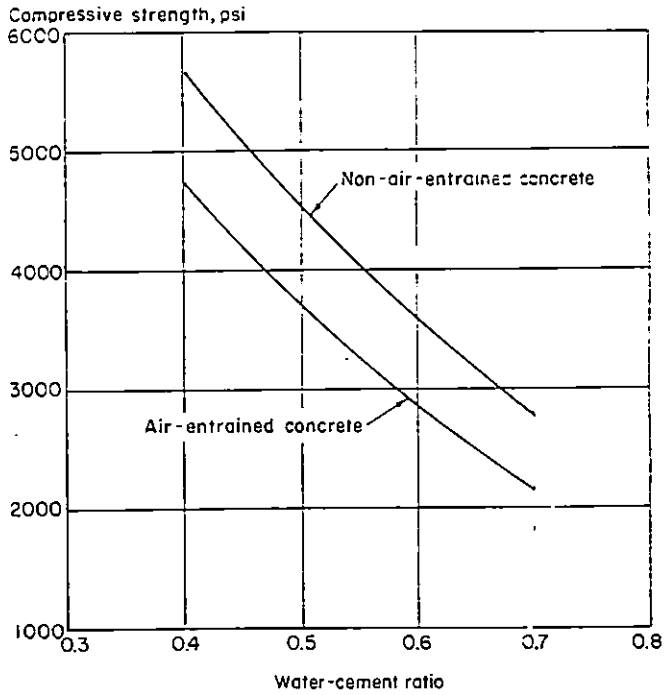
d.2 Relación Agua - Cemento (A/C)

Dado que para este ejemplo se ha considerado que no existe un registro estadístico de ensayos de Resistencia, la Relación A/C se tomará de la TABLA V.16. En vista que

la f'c de diseño no se encuentra definida en esta TABLA V.16, procede a obtener de una gráfica f'c vrs A/C el valor de la relación A/C correspondiente a f'c = 250 Kg/ cm^2 , el valor obtenido es A/C = 0.5. Si se contara con un registro estadístico de datos de resistencia y el concreto va a estar expuesto a condiciones especiales, habría que considerar los valores proporcionados por la TABLA V.13 (Relaciones A/C máximas para diferentes

condiciones de exposición del concreto o Relaciones A/C por durabilidad) y la TABLA, V.15 (Relaciones típicas entre la relación A/C y la Resistencia a la compresión del concreto o relaciones A/C por Resistencia), ya que se vuelve necesario evaluar cuál de los dos valores es más conservador. Así al hablar de la selección entre dos valores de relación A/C se debe considerar el menor de los dos, ya que como lo muestra la GRAFICA V..2, existe una relación inversa entre la Resistencia a la Compresión del concreto y la relación A/C, esto quiere decir que al considerar el menor valor A/C se estará considerando un concreto con una mayor resistencia a la compresión y al ataque de sulfato u otros agentes extraños de ataque al concreto. Por otro lado, si el concreto no estará sometido al ataque de este tipo de agentes únicamente se considera el valor proporcionado por la TABLA V.15

En resumen : A/C = 0.5



GRAFICA V.2 Relación típica entre la f'c y la relación A/C del concreto hidráulico. Fuente : Diseño y Control de Mezclas de concreto, PCA.

d.3 Contenido de Aire

De la TABLA V.18, para concreto sin aire incluido, la Cantidad de Aire atrapado para un Tamaño Máximo de 3/4" es 2%.

d.4 Revenimiento

De la TABLA V.19, se obtiene el valor del Revenimiento a partir del tipo de construcción para la cual se diseña el concreto. Por lo tanto se obtiene un valor de Revenimiento máximo de 3 pulgadas (3") . Ya que el concreto será vibrado, no se deben permitir tolerancias, ya que estas se deben permitir únicamente cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

d.5 Contenido de agua o Agua de mezclado preliminar

De la TABLA V.18, para concreto sin aire incluido, la cantidad de agua para una mezcla con Tamaño Máximo de 3/4" y un Revenimiento de 3" se obtiene una cantidad de agua igual a 200 Kg por metro cúbico de concreto(200 Kg/m^3). Esta cantidad de agua será corregida dependiendo de los valores de Humedad y Absorción que tengan los agregados, así :

* Si la A% > W% , el agregado absorberá agua del agua de mezclado obtenido de la TABLA V.18, por lo tanto hay necesidad de agregar la cantidad de agua adicional equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados a fin de evitar que este consumo adicional de agua se refleje en mezclas poco manejables.

* Si la W% > A%, el agregado aportará agua al agua de mezclado por lo tanto, hay necesidad de disminuir el agua de mezclado en la cantidad equivalente a la diferencia entre la humedad y la absorción a fin de evitar que la mezcla a elaborar tenga sobrepase el revenimiento previsto.

d.6 Contenido de cemento

Siempre que se diseña un concreto hidráulico, hay que asegurarse que la cantidad de cemento destinada para la elaboración del mismo, sea al menos la mínima requerida para lograr formar una mezcla rígida una vez endurecida. Por lo tanto hay que escoger la cantidad de cemento mínimo de la TABLA V.22, en donde se obtiene que la mezcla debe tener 321 Kg de cemento por metro cúbico de concreto, esta cantidad se comparará con la cantidad de cemento obtenida de la relación A/C, eligiéndose la mayor de éstas.

d.7 Contenido de Agregado Grueso

El contenido de Agregado Grueso por metro cúbico de concreto se obtiene de la TABLA V.17, en función del Módulo de Finura de la arena y el Tamaño Máximo del agregado grueso. El valor obtenido resulta ser 0.64 metros cúbicos de agregado grueso por metro cúbico de concreto (0.64 m^3 / m^3)

e. Proporcionamiento volumétrico

A continuación se presentan los cálculos necesarios para proporcionar volumétricamente una mezcla de concreto.

e.1 Cemento por metro cúbico de concreto

Si A/C = 0.5 y la Cantidad de Agua = 200 Kg / m^3 de concretro, tendremos :

$$C = A / (A/C) \qquad \text{(Ec. V.23)}$$

$$C = 200 / 0.5$$
$$C = 400 \text{ Kg de cemento / } m^3 \text{ de concretro}$$

Por lo tanto, tenemos :

Cemento mínimo :	321 Kg
Cemento calculado :	400 Kg (Valor elegido)

e.2 Agregado Grueso

El volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto se transforma a Peso Absoluto, multiplicando el PESO VOLUMETRICO VARILLADO del agregado por la cantidad volumétrica de agregado por metro cúbico de concreto obtenida de la TABLA V.17. Por lo tanto :

$$P = P.V. * \text{VALOR DE TABLA V.16} \qquad \text{(Ec. V.24)}$$

$$P = 1558 * 0.64$$
$$P = 997.12 \text{ Kg de grava por } m^3 \text{ de concreto.}$$

Para el caso con que se cuente con dos gravas el PVV considerado será el de la combinación óptima obtenida de la mezcla de agregados gruesos a través del método de Pesos Volumétricos (Ver Sección V.2)

e.3 Transformando a Volúmenes Absolutos

Esta transformación se lleva a cabo con el propósito de encontrar el Volumen de arena necesario para que el metro cúbico de concreto para el cual se diseña, posea el mínimo volumen de vacíos posibles, ya que por la forma en que se determina dicho volumen de arena, se puede asegurar que la mayoría de los huecos no cubiertos por el agregado grueso y el cemento dentro de la unidad de volumen de concreto, serán cubiertos por la arena a utilizar en la mezcla.

Deduciendo los Volúmenes Absolutos del agua, cemento y grava a partir de la expresión básica de Gravedad Específica (Gs = P/ (1.0 * V)), se obtienen los siguientes valores :

Agregados	Peso Absoluto (Kg)	Gs	Vol. Absoluto (lts)
Agua	200	1.000	200.0
Cemento	400	3.15	127.0
Grava	997.1	2.64	377.7
Aire	2%		20.0
			724.7 lts

Por lo tanto el volumen y peso correspondiente de arena son :

Volumen Absoluto de arena = 1000 - 724.7
= 275.3 lts

Peso Absoluto de arena = 275.3 * 2.57
= 707.5 Kg

e.4 Corrección del agua de mezclado

Atendiendo lo indicado en el literal (d.5), se tendrá que calcular los pesos de los pétreos en estado húmedo y saturado, ya que de la diferencia entre estos dos valores se obtendrá el valor por el cual se tendrá que corregir el agua de mezclado. El peso húmedo se logra multiplicando el peso seco por la humedad de campo y el peso saturado multiplicando el peso seco por la absorción (determinada en condición SSS). Así tendremos :

Material	Peso Seco(Kg)	%w	%A	Peso Húmedo(Kg)	Peso Saturado(Kg)
Arena	707.5	1.2	1.3	716.0	716.7
Grava	997.1	1.3	2.0	1010.1	1017.0

Como se puede ver, para la arena y la grava %w < %A, por lo tanto la corrección del agua será :

Corrección 1 (arena) : 716.0 - 716.7 = -0.7 Kg
Corrección 2 (grava) : 1010.1 - 1017.0 = -7.1 Kg

El signo negativo debe interpretarse como la falta de agua que hará falta a causa de la absorción de los materiales pétreos. Por lo tanto al agua de mezclado original, habrá que agregar la suma algebraica del agua establecida en las correcciones anteriores. Así para el ejemplo tendremos :

Agua Adicional = 0.7 Kg + 7.1 Kg
= 7.8 Kg (de agua adicional al agua de mezclado)

e.6 Cantidades finales

Luego de haber corregido, las cantidades finales para dosificación de campo son:

Agua = 200 + 7.8
= 207.8 Kg
Cemento = 400 Kg
Arena = 716 Kg
Grava = 1010.1 Kg

e.7 Mezcla de prueba en laboratorio

Esta mezcla sirve para revisar el diseño, tanto en su resistencia como en su trabajabilidad. Durante su elaboración podrá observarse la apariencia que presenta el concreto, lo cual es importante debido a que es un indicativo de la trabajabilidad del mismo. Esta mezcla se calcula para un volumen igual al de los cilindros necesarios para realizar los ensayos de Resistencia a la Compresión a los 7, 14 y 28 días.

Dado que el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado(ACI 318R-95), especifica que el resultado de una prueba es el promedio de las resistencias de dos cilindros, habrá necesidad de elaborar siete (7) cilindros, de los cuales seis (6) serán para prueba de Resistencia a la Compresión y el volumen equivalente de un (1) cilindro para prueba del revenimiento de la mezcla elaborada. Si se conoce que un cilindro de concreto

consume un volumen aproximado de 7 litros de concreto, el volumen de concreto a elaborar para mezcla de prueba será :

Volumen de Prueba = 7 lt/cil. * 7 cil
= 49 lt (de concreto para mezcla de prueba)

Por lo tanto las cantidades de materiales para 49 lt. de concreto serán :

Agua = 207.8 * (49/100)
= 10.2 Kg

Cemento = 400 * (49/1000)
= 19.6 Kg

Arena = 716 * (49/1000)
= 35.1 Kg

Grava = 1010.1 * (49/1000)
= 49.5 Kg

NOTA1 : Se ensayarán 2 cilindros a los 7 días, 2 a los 14 días y 2 a los 28 días de edad del concreto.

NOTA2 : Si los agregados con los cuales se elabora la mezcla en laboratorio están secos, habrá que considerar los pesos secos determinados en (e.2) y (e.3) para determinar las cantidades de arena y grava en la mezcla de laboratorio.

e.8 Corrección de la mezcla de laboratorio

Es muy probable que la cantidad de agua calculada no proporcione el revenimiento que se ha planificado, por lo general en la práctica se observa que el proporcionamiento realizado debe ser ajustado ya sea, agregando o quitando pétreos dependiendo si la mezcla se observa gruesa o fina o, agregando o quitando agua dependiendo si el revenimiento es bajo o alto, claro está, estas cantidades de pétreos o agua agregados o eliminadas deberán hacerse dentro del proceso de cálculo del diseño y además controladas, con el propósito de que al obtener la corrección óptima de la mezcla, se pueda dosificar por bolsa en forma definitiva y precisa.

El factor más influyente para que el diseño no sea ampliamente modificado, es la granulometría de los agregados, ya que, si éstas están dentro de las especificaciones consideradas el concreto elaborado necesitará ajustes mínimos.

e.9 Dosificación por bolsa de cemento

Debido a que en el campo de trabajo las dosificaciones se realizan en función de "bolsas de cemento", se vuelve necesario incluir en el diseño una dosificación que pueda ser manejada por el encargado de la obra, en una forma fácil. Esta dosificación de campo se logra proporcionando el concreto por bolsa de cemento. Así, si conocemos que una (1) bolsa de cemento es igual a 42.5 Kg de peso, tendremos :

Agua = 207.8 * (42.5 / 400)
= 22.1 Kg

Cemento = 400 * (42.5 / 400)
= 42.5 Kg

Arena = 716 * (42.5 / 400)
= 76.1 Kg

Grava = 1010.1* (42.5 / 400)
= 107.3 Kg

Debido a que la condición de proporcionamiento de campo es por Volúmenes Absolutos en condición suelta, se transformará las cantidades de arena y grava a

Volúmenes Absolutos, así por lo tanto se tiene :

Arena = 76.1 Kg / 1295 Kg /m^3
= 0.06 m^3

Grava = 107.3 Kg / 1435 Kg / m^3
= 0.07 m^3

Si el volumen de la periguela será igual al volumen de una bolsa de cemento (1 pie^3), habrá que considerar el área de la periguela de tal forma que sea manejable por dos auxiliares, si dicha área se refleja en una altura excesiva, se disminuye esta altura a la mitad, teniendo que duplicarse la dosificación de los materiales al momento de realizar el proporcionamiento, así si según los cálculos resulta que es necesario una periguela de 40cm x 25 cm, y una altura de 80 cm, se disminuye la altura a 40 cm y la cantidad de periguelas de materiales se verá incrementada al doble de la calculada

NOTA 3 : La cantidad de agua por bolsa de cemento deberá agregarse en "baldes de agua " para lo cual se mide con una probeta graduada en mililitros, la cantidad de agua que consume un balde, para así deducir el número de baldes de agua por bolsa de cemento.

COMENTARIOS

1. Se hace necesario discriminar materiales que a simple vista presenten características físicas no favorables para la obtención de un buen resultado. Así se deben eliminar gravas que presenten abundancia de partículas de un solo tamaño, con apreciable contaminación de sustancias o cuerpos extraños; arenas que no cumplan con la granulometría y con el Módulo de Finura (MF). Es por esto que se vuelva necesario contar con varios agregados gruesos y finos, ya que de esta manera se podrá elegir aquellos que conlleven hacia un buen resultado final .

   La discriminación de las gravas se puede realizar en base a la Granulometría, Peso Volumétrico suelto y varillado, Desgaste y otras características igualmente importantes. Por su lado las arenas podrán discriminarse granulométricamente y a través de su Módulo de Finura (MF) las cuales según ASTM C 33-90 deben poseer un MF entre 2.3 a 3.1
   Se elegirá a aquella arena que posea el valor más próximo al punto medio (2.7) de este rango.

   La especificación ASTM C 33-90 indica además el límite máximo permisible de sustancias deletereas y desmenuzables en agregado fino (arena) para concreto hidráulico, estos límites son :

Grumos de arcilla y partículas desmenuzables	3.0%
Material más fino que la malla N°200 en concreto sujeto a abrasión	3.0%
Material más fino que la malla N°200 en otro tipo de concreto	5.0%

2. Debe cuidarse que el tamaño máximo del agregado grueso no sea superior a 1/3 del peralte de la losa, ni a 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las varillas individuales de refuerzo

3. Cuando se hace la recomendación del revenimiento de la mezcla a elaborar en la obra, se vuelve necesario indicar un valor menor al que se consideró durante el diseño de la mezcla, ya que normalmente cuando se hacen los ajustes de campo en la mezcla de trabajo, el Revenimiento se ve incrementado normalmente en 1" ó 1 1/2".

4. Aunque es sabido que hoy en día, para un proyecto carreteras lo más recomendable usar sería concreto premezclado; la anterior descripción del método de proporcionamiento servirá para que durante el desarrollo del mismo, se pueda tener conocimiento de los principales factores que han intervenido en el diseño de un concreto en particular, solo así se podrá desarrollar un control más efectivo sobre éste mismo.

CAPITULO VI

CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

VI. CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

VI.1 GENERALIDADES

El Control de Calidad es una actividad de campo que inicia prácticamente antes de la ejecución de todo proyecto de carreteras, es por esto, que la entidad encargada de llevar a cabo dicho control (SUPERVISIÓN), esta obligada a poner en función un Laboratorio de Campo antes que cualquier actividad sea ejecutada con los materiales que el Constructor (CONTRATISTA) ha propuesto utilizar para un proyecto en particular.

El Control de Calidad se realiza a través de la ejecución de Ensayos de Laboratorio, Inspección de Campo, Ensayos In-Sítu durante e inmediatamente después de ejecutar cierta cantidad de obra y de cualquier otra actividad que conlleve a que la calidad final del Pavimento construido, sea de la satisfacción del Propietario (GOBIERNO O ENTIDAD PRIVADA). Así, el Control de Calidad busca conocer la calidad, tanto de los materiales a utilizar como de las obras ejecutadas con éstos mismos, a fin de prever su probable comportamiento en la obra, controlar sus características durante la construcción y evaluar las condiciones de las capas construidas con dichos materiales o mezclas.

Los Ensayos de Laboratorio para ejecutar el Control de Calidad, se deben desarrollar a través procedimientos confiables, de los cuales se puedan obtener resultados aproximados a lo que se espera, para confrontarlos con los parámetros de diseño establecidos en las Especificaciones Técnicas de cada proyecto.

Por su parte, una consciente Inspectoría de Campo abona en mucho a la calidad de la obra ejecutada. Así por lo tanto, la Inspección de Campo debe ser constante, acuciosa, permanente y dinámica ya que solo así se podrán disminuir los riesgos que implica, la constante influencia de factores externos y elementos ajenos al proyecto mismo.

Los Ensayos de Campo o Ensayos In-Sítu son sin lugar a duda muy importantes, ya que de éstos se obtendrán los verdaderos valores de las propiedades, de mezclas y agregados, con los que fueron colocados estos mismos, dentro de la estructura del Pavimento construido.

Por lo tanto, en este CAPITULO VI, se desarrollan los Ensayos de Laboratorio necesarios para el Control de Calidad del concreto asfáltico; así como también se presenta el listado de ensayos referidos a las especificaciones ASTM y AASTHTO, necesarios para el Control de Calidad del Concreto Hidráulico.

VI.2 EL LABORATORIO DE CAMPO PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

VI.2.1 Generalidades

El Laboratorio de Campo juega un papel importante dentro del desarrollo de un proyecto de carreteras. Debido al rol que éste tiene, es importante conocer cuáles son sus Funciones, Alcances y Limitaciones para que a través de su funcionamiento se pueda implementar un adecuado y permanente Control de Calidad, que contribuya a una terminación satisfactoria del proyecto en cuestión.

Un Laboratorio de Campo para el Control de Calidad , es la instancia encargada de realizar los ensayos de laboratorio y de campo necesarios, con el propósito de proporcionar resultados que sirvan de apoyo a la Residencia del Proyecto, durante la evaluación de la calidad de los materiales y de las obras parciales o totales ejecutadas con los mismos.

La inclusión de este tema es importante debido a que será de gran ayuda para el Estudiante, pues se discuten elementos de orden práctico, con el propósito de que los Estudiantes se formen un panorama general sobre los principales aspectos que conlleva el Control de Calidad en el campo. Así por ejemplo, en la práctica surgen situaciones anormales en lo relativo a la obra ejecutada en un momento determinado, las cuales requieren de una inmediata atención del responsable o los responsables directos de lo ejecutado. En estos casos, si es el Laboratorio quien detectó tal situación, deberá comunicar inmediatamente de lo sucedido, al Ingeniero Residente. En estas situaciones juegan un papel muy importante, aspectos como la experiencia para manejar ese tipo de situaciones y para poder proponer soluciones que resuelvan el problema de una manera inmediata y segura.

VI.2.2 Funciones, Alcances y Limitaciones del Laboratorio de Campo

a. Funciones

a.1 Relativo a los materiales

* Muestrear oportunamente los materiales propuestos por el Contratista para la realización de una obra en particular, con el propósito de analizarlos de acuerdo a lo requerido en las Especificaciones del Proyecto.

* En lo relativo al asfalto, el Laboratorio debe muestrear el asfalto en la refinería o en la planta donde se elabora la mezcla asfáltica.

* Muestrear la mezcla asfáltica en la planta y durante los tendidos a efecto de poder determinar posteriormente la compactación de la mezcla asfáltica colocada.

* Realizar oportunamente los ensayos necesarios en los materiales muestreados (Bancos de Préstamo, asfalto, mezcla asfáltica, aditivos, geotextiles, elementos de concreto prefabricados como tuberías y otros, acero, etc), así como también procesar la información obtenida de éstos para poder determinar si los materiales ensayados cumplen con las Especificaciones de Proyecto o de los diseños propuestos.

* Aprobar o rechazar materiales (Bancos de Préstamo, asfalto, mezcla asfáltica, aditivos, geotextiles, elementos de concreto prefabricados como tuberías y otros, acero, etc) en base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados, así como también notificar sobre tal situación al Ingeniero Residente del Proyecto.

* Proporcionar soluciones a problemas, cuando el origen de estos sea la calidad de los materiales utilizados para la ejecución de una obra en particular.

* Realizar un control oportuno y permanente sobre la calidad de los materiales, durante la ejecución del proyecto, informando periódicamente al Ingeniero Residente sobre los resultados obtenidos .

* Velar que los materiales utilizados, sean aquellos que se han aprobado oportunamente. Cualquier cambio en la fuente de los materiales (Bancos de Préstamo, asfalto, mezcla asfáltica, aditivos, geotextiles, elementos de concreto prefabricados como tuberías y otros, acero, etc) deberán nuevamente ser aprobados por el Laboratorio.

* Analizar los diseños de las mezclas asfáltica e/o hidráulica elaborados con los materiales propuestos, antes de que lo propuesto en tal diseño sea utilizado para la ejecución de cualquier obra considerada dentro del proyecto. Para este efecto, el Laboratorio debe realizar mezclas de prueba y ensayar esta misma, para comprobar si lo propuesto por el Contratista cumple o no, las especificaciones del Proyecto.

* Crear un registro propio de datos de laboratorio organizado de tal forma que se pueda obtener información en una forma inmediata y precisa.

a.2 Relativo a las obras ejecutadas

* Realizar oportunamente los ensayos in-situ necesarios, para determinar la calidad de los materiales (suelos, pétreos, mezcla asfáltica, asfalto, concreto hidráulico, etc)

utilizados para la ejecución de las obras previstas y procesar la información obtenida a fin de poder confrontar, los resultados finales con lo requerido en las Especificaciones de Proyecto.

* Aprobar o rechazar obras ejecutadas en base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados, notificando sobre tal situación al Ingeniero Residente del Proyecto.

* Apoyar a la Residencia del Proyecto, a través de proponer soluciones a los problemas surgidos en las obras ejecutadas.

* Realizar un control oportuno y permanente sobre las obras ejecutadas, e informar periódicamente al Ingeniero Residente sobre los resultados obtenidos .

* Monitorear la calidad de la mezcla asfáltica al interior de la planta de producción, con el fin de poder detectar problemas durante los proporcionamientos o el procedimiento de mezclado.

* Realizar el Control de Calidad durante los tendidos de la carpeta propuesta, a través del muestreo de la misma. En mezcla asfáltica será necesario tomar muestras de la mezcla al momento de su tendido, elaborando además briquetas Marshall de la mezcla que esta siendo colocada, con el objetivo de poder obtener posteriormente el la Densidad de referencia contra la que se comparará la de los núcleos de la carpeta asfáltica compactada. En el caso de concreto hidráulico, será necesario que el Laboratorio realize pruebas in-situ de Revenimiento, temperatura y elabore además la suficiente cantidad de cilindros de concreto para poder verificar la resistencia del mismo a las edades establecidas en el diseño de este concreto.

* Determinar espesores de la mezcla asfáltica compactada, ya sean estos en pavimentos Flexibles o Rígidos.

b. Alcances

* Participar en reuniones de trabajo cuando el Ingeniero Residente así lo requiera.

* Poseer un plan de trabajo interno tal que con su implementación, se pueda cumplir con la función de realizar ensayos en forma organizada, a fin de contar con la información de laboratorio en el momento que se necesite.

* Informar por escrito al Residente del Proyecto, sobre los resultados de laboratorio obtenidos del ensayo de las muestras tomadas del campo durante un período

determinado, incluyendo en este mismo, su análisis correspondiente, las conclusiones y recomendaciones que sean necesarias, en caso de existir resultados que no cumplan con lo especificado.

* Hacer observaciones por escrito al Residente del Proyecto sobre las anormalidades que puedan surgir en la calidad de los materiales, así como también durante la producción y colocación de mezclas.

* Después de haber analizado los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestras tomadas durante la producción de mezcla asfáltica, informará al Residente del Proyecto, si así se requiere, sobre la necesidad de realizar ajustes en dicha planta, para lo cual el Laboratorio podrá proponer soluciones que conlleven a corregir los problemas surgidos, de tal forma, que la mezcla producida cumpla con las especificaciones requeridas.

* Informar por escrito al Residente del Proyecto, sobre cualquier cambio en la calidad del asfalto utilizado, cuando este proviene de un nuevo suministro.

* Elaborar un informe para el Residente del Proyecto, sobre la aprobación o rechazo de los bancos de préstamo en base a los ensayos de laboratorio realizados a las muestras tomadas de éstos.

* Informar por escrito al Residente del Proyecto sobre las observaciones hechas al diseño de la mezcla (asfáltica o hidráulica) presentado por el Contratista(Constructor) para su aprobación final.

c. Limitaciones

Dentro de las limitaciones más importante del personal de laboratorio se encuentran :

* El Ingeniero de Laboratorio no podrá detener por desición propia, el avance de las actividades del proyecto cuando detecte fallas en los procesos constructivos desarrollados por el Constructor. Será el Ingeniero Residente del Proyecto, quien en base al informe presentado y a la comprobación de lo informado, determine la suspensión de las actividades, a fin de que se corrijan las fallas presentadas.

* El Laboratorio de Campo podrá sugerir soluciones a problemas que se presenten, será el Ingeniero Residente del Proyecto quien decidirá, en base a las observaciones hechas por el Laboratorio, sobre la aplicación de las mismas, para corregir los fallas presentadas.

* De acuerdo con las responsabilidades asignadas a los Ingenieros que intervienen

en la Supervisión de un proyecto de carreteras, el Ingeniero de Laboratorio no puede firmar el Libro de Bitácora, únicamente lo puede hacer el Ingeniero Residente, debido a que es el primer responsable del desarrollo del mismo.

* El Ingeniero de Laboratorio no puede utilizar dentro de sus labores, el recurso humano asignado a la inspectoría de campo, a menos que así lo autorice el Ingeniero Residente del proyecto.

* El Laboratorio únicamente trasladará informes sobre el Control de Calidad de materiales y obras ejecutadas, al Ingeniero Residente del proyecto, quien gerarquicamente es el Jefe de todo el personal de laboratorio.

VI.2.3 Recursos del Laboratorio de Campo

a. Generalidad

Para poder desarrollar sus funciones, en una forma efectiva, constante y confiable el Laboratorio de Campo debe contar con personal de laboratorio altamente capacitado y equipo de Laboratorio adecuado.

La cantidad de recurso tanto humano como de equipo asignado al laboratorio de un proyecto, dependerá de la magnitud del mismo. En todo caso, este recurso debe ser el suficiente y necesario en cantidad y calidad, para poder así, desarrollar las funciones propias del mismo en una forma eficiente.

b. Calificación del personal

En primer lugar, el responsable del Laboratorio de Campo debe ser Ingeniero Civil Titulado, legalmente autorizado para ejercer. Es la máxima autoridad dentro del laboratorio y sus funciones básicas son las de planificar, organizar, programar, dirigir, coordinar y supervisar las actividades que tengan que ver con el laboratorio, ya sea dentro o fuera del mismo. Lógicamente debe tener experiencia en el manejo de personal, la ejecución de ensayos, interpretación de resultados, elaboración de informes, procesos constructivos de pavimentos, tipos de maquinaria de campo, manejo de equipo de laboratorio, diseño de mezclas para pavimentos rígidos y flexibles y por su puesto debe saber improvisar instalaciones para el equipo o del equipo de laboratorio, dado que por su misma naturaleza, es muy probable que en un momento determinado, éste sufra desperfectos eléctricos o mecánicos.

Así, un Laboratorista de Pavimentos debe tener como mínimo tres (3) años de experiencia o por lo menos haber trabajado en un proyecto desde su inicio hasta su final.

Así dentro de sus conocimientos debe poder realizar los ensayos de laboratorio que conlleven a determinar la calidad de los materiales que se pretenden usar en un proyecto específico. Si es posible, debe contar con un Título de Técnico en Ingeniería Civil con conocimiento sobre el manejo del equipo que hoy día se está utilizando en los Laboratorios de Pavimentos ubicados en el campo. El Laboratorista es el responsable de procesar los resultados de los ensayos para reportarlos al Ingeniero de Laboratorio, sin dejar de lado la realización de los mismos como principal tarea dentro de sus funciones.

Por su lado el Auxiliar de Laboratorio debe tener como mínimo tres (3) años de experiencia en la realización de los ensayos de laboratorio para pavimentos. Es preferible que sea Bachiller y que posea habilidad para realizar los cálculos elementales que se dan en dichos ensayos.

En cuanto al equipo de laboratorio, será necesario que el Laboratorio cuente con todo el equipo necesario para realizar el Control de calidad de los materiales pétreos, suelos y mezclas asfálticas o hidráulicas a ser utilizados en el proyecto. Estos equipos son aquellos que se refieren en los ensayos presentados en los CAPÍTULOS II, III, IV, V y VI.

El equipo de laboratorio debe estar en buenas condiciones, de tal forma que los resultados obtenidos a través de su utilización sean congruentes y confiables.

VI.3 Control de Calidad para Agregados Pétreos y Suelos

El control de estos se inicia desde la determinación de las características de los materiales de los Bancos de Préstamo hasta la determinación de la calidad de las obras construidas con o sobre los mismos. Será necesario que se les realicen todos los ensayos que se indican en el pliego de especificaciones, a fin de determinar la calidad de los mismos antes de su utilización. Los ensayos aplicables en este caso, fueron descritos en los CAPÍTULOS II y III. Los ensayos más comunes para los propósitos mencionados son el Muestreo de agregados, Granulometría utilizando lavado (método mecánico), Límites de Consistencia, CBR y Desgaste por Abrasión utilizando la máquina de Los Angeles.

VI.4 Control de Calidad de obras de Terracerías

Básicamente, en lo que al Laboratorio corresponde, el control de calidad se restringe a la determinación de la calidad de la compactación. Esto se realiza a través de la determinación del Grado de Compactación (GC) que han logrado con los equipos utilizados para la actividad de compactación.

Las Especificaciones del Proyecto indicarán los valores del Grado de Compactación (GC) requeridos en cada una de los elementos que conforman la estructura de un pavimento.

Estos valores requeridos de Grado de Compactación (GC) estarán en función del valor del Peso Volumétrico Seco máximo logrado en laboratorio y de la compactación de los terraplenes en el campo y podrán tener diferente valor para cada caso. Normalmente los requerimientos de GC para la base del pavimento, son más estrictos que para la sub-base o sub-rasante. Estos valores de GC suelen ser normalmente de 100% para bases, 95% para sub-base y 90% para sub-rasante. El método de comparación utilizado, generalmente es el AASHTO T 180 (ver Ensayo N°6).

Como se mencionó en el ENSAYO N°6 del CAPITULO II, el Grado de Compactación (GC) es la relación entre el Γdmax de campo y el Γdmax. de laboratorio multiplicada por cien. De aquí que el ensayo básico para este fin, es la determinación de la Densidad de Campo,el lector puede referirse a los estándares AASHTO T 238-86 ó ASTM D 2922-90 **(DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD IN-SITU DE SUELOS Y SUELO-AGREGADO, UTILIZANDO EL DENSÍMETRO NUCLEAR (POCA PROFUNDIDAD))** o también AASHTO T 191-93 ó ASTM D 1556-90 (**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD IN-SITU DE SUELOS, UTILIZANDO EL METODO DEL CONO Y ARENA)**

VI.5 Control de Calidad de asfaltos

Los productos asfálticos que se utilizan en un proyecto de carreteras, son muy susceptibles a modificar sus propiedades reológicas y físicas a causa del manejo al que se ven sometidos. El control de su calidad puede desarrollarse a través de los ensayos descritos en el CAPITULO IV, pero cabe mencionar que últimamente se han desarrollado avances tecnológicos en el estudio de los asfaltos, encaminados a proveer una información más real sobre su comportamiento ante condiciones reales de trabajo, influyendo esto desde luego, en el Control de Calidad de los mismos. Ejemplo de esto, es el **PROGRAMA SHRP (STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM)**, creado en 1987 por el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica, habiendo reconocido la necesidad para mejorar la tecnología aplicada en carreteras y efectuar actualizaciones congruentes con el progreso del mundo moderno, tanto en lo referente a estrategias de construcción y mantenimiento , como de los equipos y materiales utilizados.

A continuación se hace una cita de una parte de lo contenido en la MEMORIA de la XI REUNIÓN NACIONAL DE VÍAS TERRESTRES, organizada por la ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES, celebrada en Morelia, Michoacan, México en julio de 1994, específicamente en lo relativo al PROGRAMA SHRP, incluido dentro del Capítulo PROYECTOS Y NORMAS de esta Memória.

" El programa se enfocó hacia el comportamiento de los pavimentos durante su vida útil, considerándose para ello, casi 100 objetivos, de los cuales más de la mitad, están dirigidos hacia el desarrollo de mejores especificaciones y métodos de prueba (33 nuevas especificaciones y 26 métodos de prueba). Dentro de las investigaciones realizadas se

incluyó "El mejoramiento del comportamiento de los productos asfálticos ", "El Sistema SUPERPAVE" (que corresponde a las siglas de Superior Performing Asphalt Pavements = Pavimentos Asfálticos de Comportamiento Superior) en el cual se lleva a cabo una serie de pruebas en los asfaltos que comprenden entre otras, las del estudio de vigas sometidas a flexión en un Reómetro, Resistencia Dinámica al Corte, medida con un Reómetro y la resistencia a la tensión obtenida mediante un aparato especial. Se selecciona al tipo de asfalto con base en el volumen del tránsito y sus pesos esperados; también se incluyen condiciones ambientales para definir al producto asfáltico, así como condiciones de aplicación.

Los reómetros referidos permiten obtener las características reológicas de los asfaltos, bajo condiciones cambiantes de cargas, tiempo y temperatura, durante la vida esperada del proyecto en cuestión, lo que ni remotamente se logra con las clásicas pruebas de Viscosidad y Penetración. Las pruebas efectuadas con reómetros garantizan (según Superpave), una verdadera representatividad de las características de los materiales durante su elaboración, almacenamiento y uso, y valídan la simulación de los **efectos de deformación acumulada (rodera)**, agrietamiento por fatiga y por bajas temperaturas, en un rango que se ha considerado muy completo y representativo, pues se basa en el estudio del comportamiento de 75 secciones de pavimentos distribuidos en todo los Estados Unidos de Norteamérica.

Es conveniente acotar que las pruebas con los reómetros se pueden llevar a cabo en especímenes de asfalto envejecidos bajo presión y calor, en una forma relativamente rápida, lo que es una ayuda invaluable para escoger la mezcla, asfaltos y aditivos más adecuados . En 1993 se estimó el costo de los reómetros, oscilando estos entre los 20,000 dólares y los 45,000 dólares, esto sin duda es una desventaja para las Empresas que se dedican al campo de las vías terrestres en los países sub-desarrollados o en vías de desarrollo. Aún así, la importancia que significa el poder ejecutar un Control de Calidad de los pavimentos a través de la utilización de estos equipos, vuelve relativo al costo de los mismos, ya que por ejemplo con los aparatos referidos se pueden reproducir condiciones de esfuerzo y deformación cíclica. Por ejemplo, en la superficie de la carpeta y en la orilla de la huella de la llanta, se pueden analizar los comportamientos no lineales, viscosos y elásticos. Aplicando los resultados obtenidos con los reómetros se pueden predecir las condiciones de rodera y agrietamiento que se tendrán bajo ciertas condiciones de tiempo, oxidación, cargas y climas, en menos de una hora.

Como parte esencial en sus investigaciones sobre asfaltos, el SHRP manifiesta haber descubierto un componente químico específico y trascendental en el comportamiento de los asfaltos, al cual llamaron " **AMFOTERICO" (AMPHOTERICS),** el cual puede actuar como un compuesto ácido o básico, dependiendo del medio en el que se encuentre.

Estos compuestos corresponden nada más al 10% ó 15% de los que contiene un asfalto, sin embargo, ejercen un gran control sobre la resistencia del asfalto contra el desarrollo de roderas, su envejecimiento y susceptibilidad al agua, su adherencia y su viscosidad.

El 90% de los asfaltos está compuesto de hidrocarburos y el 10% restante por azufre, nitrógeno, oxígeno y algunas trazas de metales. Sus correspondientes moléculas se unen a las moléculas de los hidrocarburos, en agrupaciones que han sido designadas como " Grupos Funcionales Polares" . Estos grupos controlan al comportamiento de los asfaltos, debido a que controlan el que las moléculas se unan y formen redes tridimensionales, dotando con ello de resistencia al asfalto, o bien, permitir que el asfalto fluya como un líquido. Si esta red no es lo suficientemente fuerte, el asfalto no será, a su vez, lo suficientemente elástico (es decir no rebotará) y por tanto se formarán **roderas (deformación permanente)**. Si la red es demasiado fuerte, no cederá, lo que provocará el agrietamiento. Esta red también influye en la susceptibilidad al agua, en el asfalto, debido a que son, las moléculas polares, las que propician que el asfalto se adhiera a los agregados y es ésta liga la que se puede romper bajo la acción del agua. El envejecimiento del asfalto se debe, fundamentalmente, a la oxidación y el desarrollo que se logre, así como, al tipo y cantidad de moléculas polares presentes.

Con base en una técnica de análisis químico, conocida como " **CROMATOGRAFIA DE INTERCAMBIO DE IONES** ", se ha podido separar al asfalto en sus diversas fracciones fundamentalmente las neutras (solventes), los ácidos fuertes y los "amfotéricos". Con esta técnica se encontró que las características de comportamiento se ligan a la fracción ácido del asfalto. Posteriormente se descubrió que en realidad se estaban definiendo diferentes tipos de materiales polares, incluyendo los amfotéricos. Se examinó de éstos últimos y se descubrió que constituyen un factor clave en el comportamiento del asfalto.

En la Cromatografía de Iones Intercambiables, primero se divide a los asfaltos en dos fracciones : las moléculas polares y las no-polares. Posteriormente a las moléculas polares se les fracciona en compuestos ácidos, compuestos básicos y amfotéricos. Esta técnica desarrollada por SHRP (a través de contratistas) hizo posible, por primera vez, determinar la influencia que cada tipo de molécula tiene, en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Una vez separadas las diferentes fracciones, se les volvió a combinar en forma selectiva, con lo que se descubrió la radical importancia de los amfotéricos en el comportamiento visco-elástico del asfalto. Se descubrió también que a bajas temperaturas los materiales no- polares se cristalizan, lo que conduce a fragilizar a un asfalto a bajas temperaturas.

La técnica referida requiere, para su ejecución, de 2 a 3 semanas y cuesta " varios miles de dólares " (SHRP), lo que descarta a esta prueba como prueba rutinaria. Sin embargo, este método es muy efectivo para aislar los diferentes componentes y estudiar sus propiedades, con lo que se pueden establecer correlaciones son otros procedimientos más sencillos, que son los que se pueden asentar en especificaciones sencillas y prácticas.

Con esta tecnología, se ha desechado la vieja concepción "Miscelar" de los asfaltos y, ahora, más bien se les considera una red de cadenas pegadas entre sí, sumergidas en una substancia. La red imparte al asfalto sus características elásticas y las substancias confinantes sus características de flujo."

Además de esto en la misma Memoria, se incluye un documento sobre la MODIFICACIÓN DE ASFALTOS CON POLIMEROS. En el se muestran las mejoras que se han observado al modificar asfalto con polímeros, entre las que se enlistan están :

* Resistencia al rompimiento por fatiga
* Resistencia a la deformación permanente
* Menor sensibilidad a cambios de temperaturas
* Mejor resistencia al impacto
* Menor desprendimiento al agregado
* Mejor resistencia a la humedad
* Menor endurecimiento asociado al envejecimiento.

Las propiedades anteriores abarcarían toda la gama de las mismas que pueden ser mejoradas al agregar polímeros, las mejoras especificas dependerán en buena medida también de las propiedades iniciales del asfalto empleado.

Como puede verse, las nuevas tecnologías ponen de manifiesto el verdadero comportamiento de los asfaltos, ya que los ensayos citados anteriormente están diseñados para simular durante su desarrollo, las verdaderas condiciones de trabajo a las que se ven sometidos los asfaltos cuando son colocados dentro de una mezcla particular.

Aunque esta tecnología es costosa para poderse aplicar hoy día en países como el nuestro, su uso puede en todos los casos, contribuir a que los pavimentos construidos sean más durables, evitando así, invertir recursos económicos en reparaciones a edades tempranas de los mismos.

VI.6 Control de Calidad de Mezclas Asfálticas

Al igual que los materiales granulares, suelos y asfaltos, la mezcla asfáltica debe elaborarse, colocarse, compactarse y controlarse de tal forma que durante su servicio en la vida útil del pavimento, pueda tener el comportamiento previsto.

Las actividades rutinarias para este Control de Calidad, incluyen desde la toma de muestras de mezcla asfáltica en la Planta de Producción y durante su colocación, así como también posterior a su compactación (extracción de núcleos), para su análisis de laboratorio; hasta el control de las actividades constructivas de campo que sean necesarias para lograr que la carpeta asfáltica sea colocada bajo los requerimientos que se indican en el pliego de especificaciones del proyecto.

A continuación se propone una secuencia de actividades necesarias para determinar las características y propiedades de las mezclas asfálticas sueltas y compactadas (núcleos). Esta secuencia está basada en la experiencia de campo que se esta dando en los

proyectos de carreteras que se desarrollan actualmente, como parte del Plan Nacional de Recuperación de la Red Vial de El Salvador. La secuencia tiene los siguientes pasos :

1. Muestreo

1.a Mezcla Asfáltica suelta

La mezcla se puede tomar ya sea de la tolva de descarga de la planta de producción o en la tolva de la extendedora durante la operación de tendido. Debe tomarse una muestra cada 50 m^3 de la mezcla producida. Si se toma de la tolva de descarga, se coloca una bandeja sobre la cama de un camión y se vacían en ella 50 Kg aproximadamente, de la mezcla elaborada, de donde se obtendrá por cuarteo la muestra requerida. Si es tomada de la tolva de la extendedora, se utiliza un cucharón o una pala para tomar porciones en dos o tres puntos de la tolva, se mezclan inmediatamente en una bandeja y a continuación por cuarteo se obtiene de la mezcla la muestra correspondiente. En ambos casos el peso de la muestra será el suficiente para efectuar las pruebas requeridas o bien, estará de acuerdo con los pesos indicados en la TABLA VI.1.

TABLA VI.1 Pesos aproximados de la muestra de mezcla asfáltica. Fuente : Normas para muestreo y pruebas de los materiales, equipos y sistemas. Sector de Comunicación y Transporte, CAPITULO 6.01.03.012, MEZCLAS ASFALTICAS, 1991, México, D.F.

Tamaño máximo del agregado Pasa malla	Peso aproximado de la muestra de mezcla, Kg
N°4	4
3/8"	6
1/2"	7
3/4"	8
1"	10
1 1/2"	12

De esta cantidad se considerará una muestra de mezcla suelta para su análisis de laboratorio y además se compactarán especímenes utilizando el equipo de compactación Marshall (Ver ASTM D 1559-89), para lo cual, la muestra debe poseer la temperatura con la que la mezcla está siendo compactada por los equipos de compactación de campo.

1.b Mezcla asfáltica compactada (Núcleos de Carpeta Asfáltica)

Después de haber localizado los puntos sobre la carpeta asfáltica que va a ser muestreada, se procede a extraer los núcleos utilizando un aparato extractor portable (portable core drill). El lector puede referirse al estándar ASTM C 42-90, con el fin de conocer el procedimiento para realizar este tipo de muestreo.

Un parámetro indispensable en el control de la mezcla asfáltica compactada es la Densidad con la cual ésta fue compactada en el campo. Esta propiedad se obtiene durante el análisis de los núcleos extraídos en campo, y su valor se obtiene a través del procedimiento descrito en el ENSAYO N°37, Ec.37.1, de este CAPITULO VI. Este valor nos permite conocer la calidad de la compactación que los equipos de campo han logrado inducir a la mezcla asfáltica colocada. Así, el Grado de Compactación de campo se puede determinar dividiendo la Densidad de la mezcla compactada en campo (Densidad del núcleo) entre la Densidad de las briquetas compactadas en el campo durante los tendidos de la mezcla asfáltica, por cien.

2. Procesamiento de laboratorio

Una vez las muestras han sido tomadas en el campo, se procede a trasladarlas al Laboratorio de Campo para su posterior análisis. El procesamiento de cada muestra puede ser el siguiente :

2.a Mezcla Asfáltica Suelta

La muestra se somete a secado (curado) por 30 min. en un horno que tenga una temperatura de 110°C, de tal forma de volver manejable a la muestra (Ver Sección 8, ASTM D 2172-88, Extracción Cuantitativa del asfalto en Mezclas Bituminosas) y de eliminar cualquier residuo de humedad que pueda tener la misma. La muestra así preparada podrá ensayarse para determinarle las siguientes características:

* Gravedad Específica Teórica Máxima (Para el Procedimiento y Cálculos Ver sección de Ensayos de este Capítulo)

* Extracción Cuantitativa del asfalto en mezclas bituminosas (Para el Procedimiento y Cálculos Ver sección de Ensayos de este Capítulo)

* Granulometría de la mezcla de agregados (Para el Procedimiento y Cálculos Ver Ensayo N°9, CAPITULO III, de este Manual)

* Gravedad Específica de gruesos y finos (Para el Procedimiento y Cálculos Ver Ensayo N°15 y 16, CAPITULO III de este Manual)

2.b Mezcla asfáltica compactada (Núcleos de carpeta asfáltica)

Una secuencia de tratamiento de cada especímen, para la determinación de sus propiedades, es la siguiente :

1. Secado de cada especímen, hasta peso constante.
2. Registrar el Peso Seco al aire, a temperatura ambiente.
3. Registrar las medidas del especímen (altura y diámetro promedios)
4. Saturación de los especímenes

    4.1 Media hora para mezclas densas (1/2 h)
    4.2 Veinticuatro horas para mezclas abiertas (24 h)

5. Determinar el Peso Sumergido en agua
6 Determinar el Peso Saturado Superficialmente Seco, al aire
7. Introducir los especímenes al Baño María a 60°C por 30 min.
8 Determinación de la Estabilidad y el Flujo
9. Disgregación de especímenes ensayados
10. Determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta.
11. Determinación del Contenido de Asfalto de cada especímen
12. Granulometría de la mezcla de agregados presentes en cada especímen
13 Análisis Densidad-Vacíos de cada especimen

Las Ecuaciones para determinar las Gravedades Específicas Bulk, tanto de los especímenes compactados como de la mezcla suelta son descritas en el **Artículo V.3.7.4 Secciones a,b, y c del CAPITULO V.**

En la sección de ensayos de este Capítulo, se presentan los siguientes procedimientos de laboratorio :

ENSAYO	ASTM	AASHTO
Gravedad Específica Teórica Máxima y Densidad de Mezclas Asfálticas	D 2041-90	T 209-93
Extracción Cuantitativa del asfalto en mezclas bituminosas	D 2172-88	T 164-93
Gravedad Específica Bulk de Mezclas Asfálticas Compactadas usando Especímenes Saturados con Superficie seca	D 2726-89	T 166-93

Porcentaje de Vacíos en Mezclas Asfálticas Densas y Abiertas, compactadas	D 3203-88	T 269-91

Los Estándares enlistados pueden ser consultados con el objeto de verificar el equipo de laboratorio o detalles en el procedimiento.

Para la Gravedad Específica de gruesos y finos (Para Procedimientos y Cálculos Ver Ensayo N°15 y 16, CAPITULO III de este Manual)

VI.7 Control de Calidad del Concreto Hidráulico

El Control de Calidad de éste suele ser igualmente riguroso que el concreto asfáltico. El Muestreo y los ensayos pertinentes sobre las muestras consideradas, deben ser en suficiente número, de tal forma de cumplir con los requisitos normales para los ensayos establecidos en las especificaciones del proyecto. En todo caso conforme avance el trabajo, el concreto se muestreará de acuerdo con el Método de Muestreo para Concreto Fresco (ASTM C 172-90).

Deberán hacerse pruebas de Revenimiento de acuerdo el Método de Ensayo para para el Revenimiento de Concreto Hidráulico (ASTM C 143-90a).

La proporción de aire en el concreto hecho con agregados de peso normal poco absorbentes deberá probarse de acuerdo con el Método de Ensayo para el Contenido de Aire de las Mezclas de Concreto Fresco utilizando Presión (ASTM C 231-91) o el Método de Ensayo para determinar el Contenido de Aire de Mezclas de Concreto Fresco utilizando el Método Volumétrico (ASTM C 173 - 78). Si se usan agregados ligeros o muy absorbentes, se debe usar este último método de prueba.

Se harán muestras para compresión y se curarán de acuerdo con la Práctica para Elaborar y Curar, Especímenes de Ensayo de Concreto Fresco en el campo (ASTM C 31 -90a). Deberán elaborarse no menos de dos muestras para cada prueba a cada edad, ni menos de una prueba para cada 115 m^3 de concreto de cada clase. Deberá hacerse cuando menos una prueba al día de cada clase de concreto usado ese día. Estas muestras se curarán en condiciones de laboratorio. Pueden ser necesarias muestras adicionales curadas en las condiciones de la obra cuando en opinión del Ingeniero Residente de la obra, exista la posibilidad de que la temperatura del aire que las rodea descienda de 40°F o suba más de 90 °F.

Las muestras se probarán de acuerdo al Método de Ensayo Para determinar la Resistencia a la Compresión de cilindros de concreto (ASTM C 39-86). Los requisitos de Resistencia deberán satisfacer lo indicado por el ACI 318-93, CAPITULO 5, SECCIONES 5.6 a la 5.13..

Para los propósitos de este Manual se ha considerado que los ensayos enlistados a continuación, son de un conocimiento más generalizado en el quehacer ingenieril de laboratorio, por lo que el lector podrá referirse a los Estándares anotados, a fin de obtener los procedimientos normados tanto por ASTM como por AASHTO.

	ASTM	AASHTO
Esfuerzo por Comprensión en Cilindros de Concreto	C 39-86	T 22-92
Revenimiento del Concreto Hidráulico	C 143-90a	T 119-93
Muestreo de Concreto Hidráulico fresco	C 172-90	T 141-93
Curado del Concreto en el Laboratorio	C 192-90a	T 126-93

ENSAYO N°36 GRAVEDAD ESPECIFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS ASFALTICAS (MEZCLA SUELTA)

REFERENCIAS : AASHTO T 209-93
ASTM D 2041-90

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación de la Gravedad Específica Teórica Máxima y la Densidad de mezclas bituminosas sueltas a una temperatura de 25°C.

2. DOCUMENTOS AFINES

NOTA : Para este propósito, el lector puede consultar las referencias de este ensayo .

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Una muestra de mezcla asfáltica previamente pesada al aire, en condición suelta, curada al horno por 30 o 45 min. a 105°C es colocada en un Picnómetro para extraer vacíos previamente calibrado, dentro del cual se introduce agua a 25 ± 4°C, de tal forma de cubrir totalmente la muestra de mezcla. La succión es aplicada durante un tiempo de 5 a 15 min, en forma gradual hasta que la presión de succión sea 30 mmHg o menos. Al final de este período la muestra no debe poseer vacíos (no se deben desprender burbujas). Se procede a gradualmente a eliminar la presión de vacíos para poder aforar el picnómetro hasta su marca de calibración. Logrado esto se registra el peso del picnómetro aforado más la muestra de ensayo. La Gravedad Específica Teórica Máxima es calculada para un temperatura de 25°C. Si la temperatura empleada para calcularla es diferente de 25°C, se deberá multiplicar su valor por un factor de corrección del agua el cual puede obtenerse así :

$$K = \frac{\text{Gs del agua a temp. de ensayo}}{\text{Gs del agua a } 25°C} \qquad \text{(Ec.36.1)}$$

NOTA 1 : Para diferentes valores de Gs del agua ver, ENSAYO N°4, TABLA 4.1 CAPITULO II, ENSAYOS DE SUELOS.

4. SIGNIFICADO Y USO

La Gravedad Específica Teórica Máxima y la Densidad de Mezclas Bituminosas son propiedades intrínsecas, cuyos valores son influenciados por la composición de las mezclas en términos de los tipos y cantidades de agregados y los materiales bituminosos que lasa constituyen.

Su valor es usado en los cálculos del Porcentaje de Vacíos de Aire en Mezclas Asfálticas compactadas. Además es esencial para el cálculo de la cantidad de asfalto absorbido por la porosidad interna de las partículas minerales individuales que constituyen a las mezclas bituminosas.

5. DEFINICIONES

Las siguientes definiciones son dadas, tal como son determinadas en este método :

5.1 Densidad : Es la masa de un metro cúbico de el material a 25°C.

5.2 Gravedad Específica Teórica Máxima

Es la relación entre una masa dada de material a 25°C y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

6. EQUIPO

NOTA 2 : Para este propósito, el lector puede consultar las referencias de este ensayo

7. PROCEDIMIENTO

El siguiente procedimiento se desarrolla considerando un Picnómetro de Vacíos del Tipo F (Capacidad : 10,000 ml) de los indicados en el estándar de referencia de este ensayo.

7.1 Calibración del Picnómetro

Esta actividad consiste en encontrar el peso del picnómetro más agua hasta su marca de aforo. La temperatura del agua debe ser de 25°C. Si la temperatura del agua es diferente, el peso registrado deberá corregirse multiplicándolo por un factor de corrección (Ver NOTA 1 ó TABLA 37.1 del ENSAYO N°37).

7.2 Pesar la muestra de ensayo

El tamaño de la muestra representativa para el ensayo debe ser de acuerdo a la TABLA 36.1

TABLA 36.1 Tamaño mínimo de la muestra de mezcla asfáltica de ensayo. Fuente : ASTM D 2041-91

Tamaño máximo del agregado en la mezcla mm (in)	Peso mínimo de la muestra, g
50.0 (2)	6000
37.5 (1 1/2)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (3/4)	2000
12.5 (1/2)	1500
9.5 (3/8)	1000
4.75 (N°4)	500

7.3 Desairado de la muestra

Se introduce la muestra de ensayo dentro del picnómetro, colocándola bajo el disco plástico espaciador perforado. Seguidamente se cierra el picnómetro, se introduce una presión de succión de 15 a 20 mmHg para permitir que el agua sea succionada hacia el interior del mismo. Cuando la presión de succión alcanza este valor se apaga la bomba de vacíos y se procede a introducir el agua, abriendo la válvula que conecta al tanque de agua desairada. Durante esta operación, no debe llenarse completamente el picnómetro, esto se hará cuando la muestra esté completamente desairada.

El picnómetro así preparado se coloca en el agitador y se procede a eliminar los vacíos por agitado durante 5 a 15 min, dependiendo de los vacíos atrapados dentro de la muestra.

Una vez terminado el desairado (la muestra ya no desprende burbujas de aire), se procede a aforar completamente el picnómetro haciendo uso de un gotero con agua desairada. Logrado esto se registra el peso del Picnómetro + agua + muestra a 25°C como E.

8. Cálculos

Determine la Gravedad Específica Teórica Máxima de la correspondiente Densidad Teórica Máxima, a través de las siguie

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

SIMBOLOGIA :

A : Peso seco de la muestra de mezcla suelta
D : Peso del picnómetro + Agua (a Tx de ensayo)
E : Peso del picnómetro + Agua (a Tx) + Muestra (a Tx)
K : Ver Ec. V.9, CAPITULO V (Temperatura base 25°C o TABL

$$Dmm = Gmm \times 997.1 \ Kg / m^3$$

9. INFORME

Los resultados del ensayo de esta muestra deben ser present general del conjunto de muestras ensayadas durante un período o mensual). En lo relativo a este ensayo debe incluirse en el inf

9.1 Gravedad Específica Teórica Máxima y su respectiva Dens la muestra ensayada a 25°C/25°C

9.2 Tipo de mezcla, tamaño de la muestra, Número de muest procedimiento.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. El tipo de equipo usado para este ensayo puede sufrir des diario a que es sometido, en esos casos es posible impr sustituya al picnómetro de vacíos. Las características de e son las siguiente :

Un bote de vidrio de los utilizados para almacenar mayonesa
Un empaque de hule cuyo espesor sea aproximadamente 1.0 cm
Un conector a la manguera de succión

b. Durante el desarrollo del ensayo debe cuidarse aspectos como temperaturas establecidas para el ensayo, tiempos de desairado, tamaño de la muestra y otros aspectos que puedan modificar el resultado a obtener.

c. El Picnómetro debe ser aforado de tal manera que el nivel del agua, sea el mismo que se tubo durante la calibración del mismo. Así también el agua a utilizar puede ser potable sin desairar, esto requerirá que el tiempo máximo de desairado sea de por lo menos 15 min.

10.2 De la utilidad del ensayo de la Gravedad Específica Teórica Máxima(Gmm)

a. Este valor se ve grandemente influenciado por la composición de la mezcla, es decir si los agregados son de mala calidad (baja Peso Específico), la Gmm reflejará un valor bajo (< 2.000). Valores normales para la Gmm para mezclas asfálticas en caliente oscilan entre 2.200 a 2.600, estos valores pueden convertirse en Densidades Bulk, multiplicándolos por la Densidad Absoluta del agua. (Ver TABLA 37.1, ENSAYO N°37)

b. Como ya se mencionó, su valor es utilizado para el cálculo del Porcentaje de Vacíos en las mezclas asfálticas colocadas.

ENSAYO N°37 GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS USANDO ESPECIMENES SATURADOS CON SUPERFICIE SECA

REFERENCIAS : AASHTO T 166 - 93
ASTM D 2726 - 93a

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación de la Gravedad Específica Bulk y la Densidad Bulk de especímenes de mezcla asfáltica compactada.

Este método debe ser usado solamente para mezclas densas o prácticamente no absorbentes, es decir para mezclas de superficie. Cuando se desee ensayar especímenes preparados con mezclas abiertas, el lector debe consultar el procedimiento ASTM D 1188 - 89 (Método de ensayo para determinar la Gravedad Específica y Densidad Bulk de mezcla bituminosas compactadas usando especímenes recubierto con parafina).

2. DOCUMENTOS AFINES

NOTA 1 : El lector puede consultar las referencias de este método para conocer los documentos afines al mismo.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

Un especímen compactado de mezcla asfáltica en estado seco, a 25°C, es pesado al aire (A), seguidamente se sumerge en agua por un tiempo de 15 min. Transcurrido este tiempo se coloca en el sistema Canasta-Balanza, utilizado para determinar el peso sumergido (C). Registrado este peso se saca del agua, se seca superficialmente con un paño limpio y se registra su peso Saturado con Superficie Seca (B).

La diferencia entre los pesos B y C, es el peso del volumen de agua desplazado por el especímen saturado con superficie seca.

Los factores de corrección son proporcionados para corregir los valores de la Gravedad Específica y Densidad, cuando las temperaturas de ensayo del agua han sido diferentes de 25°C. De esta forma, el valor obtenido estará en función de la Densidad Absoluta del agua a 25°C.

Este método es una guía para la determinación de la peso seco del especímen. La Gravedad Específica y la Densidad es calculada en función de estos pesos secos (A). La Densidad es obtenida multiplicando la Gravedad Específica Bulk por la Densidad del agua, cuyos valores son dados en la TABLA 37.1

4. SIGNIFICADO Y USO

El resultado obtenido de este ensayo puede ser usado para determinar el Peso Unitario de mezclas bituminosas densas y en acuerdo con el método D 3203 - 91, para obtener el Porcentaje de Vacíos de estas mezclas. Este valor también puede ser utilizado en la determinación de Grado Relativo de Compactación de las mezclas asfálticas analizadas.

La Gravedad Específica Bulk no tiene unidades, y puede ser convertida a Densidad Bulk, multiplicando este valor por la Densidad Absoluta del Agua (Ver TABLA 37.1). La corrección por temperatura se logra multiplicando este último resultado por el Factor de Corrección que aparece también en la TABLA 37.1

5. DEFINICIONES

5.1 Densidad Bulk

De acuerdo con este procedimiento, es el peso de un metro cúbico de la masa de un material a 25°C (77°F).

5.2 Gravedad Específica Bulk

De acuerdo como se determina en este método, es la relación entre la masa de un volumen dado de material a 25°C y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura

6. EQUIPO Y HERRAMIENTAS

NOTA 2 : Para este propósito, el lector puede consultar las referencias de este ensayo

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Preparación de los especímenes

El especímen de mezcla asfáltica compactada es colocado a curado, en horno, durante un período de 30 min a 60°C. Después de esto, el especímen se deja enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 45 min.

7.2 Registro de Pesos

Se registra el peso seco al aire del especímen (A). El especímen o conjunto de

especímenes se sumergen en un baño de agua a 25°C, durante un período de 15min, después del cual se sacan para registrar su peso sumergido (C), utilizando un sistema canasta-balanza. Logrado esto, se extrae el especímen de la canasta, se seca superficialmente y se registra su peso saturado superficie seca al aire (B).

La temperatura del recipiente que contiene el sistema canasta-balanza debe ser 25°C, si ésta difiere, habrá necesidad de efectuar corrección en el valor de la Gravedad Específica Bulk y la Densidad, en la forma que se describe en la Sección 8, de los cálculos.

8. CÁLCULOS

8.1 Calcular la Gravedad Específica Bulk (Gmb)del especímen así .

$$Gmb = \frac{A}{B - C} \qquad \text{(Ec.37.1)}$$

Donde :

A : Peso del especímen seco al aire, g
B : Peso del especímen saturado con superficie seca al aire, g
C : Peso del especímen sumergido en agua, g
B - C : Peso del volumen de agua correspondiente al volumen del especímen a 25°C, g

Si la temperatura del especímen o del agua no son 25°C, el valor Gmb se corrige por temperatura, multiplicando este valor Gmb por el factor " K " de corrección obtenido de la TABLA 37.1, así :

$$Gmb \text{ a } 25°C = Gmb \times K \qquad \text{(Ec. 37.2)}$$

TABLA 37.1 Densidad Absoluta del agua y Factores de Corrección K, para diferentes temperaturas. Fuente : ASTM D 2726-93a

Temperature, °C	Absolute Density of Water[A]	Correction Factor *K*
10	0.999728	1.002661
11	0.999634	1.002567
12	0.999526	1.002458
13	0.999406	1.002338
14	0.999273	1.002204
15	0.999129	1.002060
16	0.998972	1.001903
17	0.998804	1.001734
18	0.998625	1.001555
19	0.998435	1.001364
20	0.998234	1.001162
21	0.998022	1.000950
22	0.997801	1.000728
23	0.997569	1.000495
24	0.997327	1.000253
25	0.997075	1.000000
26	0.996814	0.999738
27	0.996544	0.999467
28	0.996264	0.999187
29	0.995976	0.998898
30	0.995678	0.998599

8.2 Calcular de Densidad (D)del especímen de la siguiente forma :

$$D = Gmb \times 997.0 \ Kg/m^3 (\text{ ó } 62.24 \ lb/pie^3) \qquad \text{(Ec. 37.3)}$$

9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente :

9.1 La Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada a 25°C, con aproximación de tres cifras decimales.

9.2 La Densidad de la mezcla compactada a 25°C en Kg/m^3 ó lb/pie^3.

9.3 Características de la mezcla de diseño, tales como tipo de mezcla, Contenido Optimo de Asfalto (COA), Densidad correspondiente al COA, Porcentaje de vacíos de aire, VMA, Estabilidad y Flujo.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. Básicamente el proceso desarrollado es sencillo, respetando siempre los parámetros importantes de tiempos y temperaturas que especifican los estándares. El procedimiento desarrollado también se apega a la forma práctica de campo de determinar los valores pretendidos en este ensayo.

10.2 De la utilidad del ensayo de Gravedad Específica Bulk y Densidad de mezclas asfálticas compactadas

a. En campo es una de las dos formas de conocer la calidad de la compactación de campo en las mezclas asfálticas colocadas, así para conocer el Grado de Compactación alcanzado habrá que dividir el valor de la Densidad los especímenes de ensayo por la Densidad de Diseño (valor correspondiente al COA en el diseño de la mezcla) y multiplicar este valor por cien. Los valores normales de Densidad para briquetas de campo oscilan entre los 2000 a 2300 Kg / m^3, pudiendo alcanzarse en algunos casos los 2400 Kg / m^3, dependiendo de la calidad de los materiales utilizados en la mezcla y de la compactación de campo inducida a la misma.

ENSAYO N°38 PORCENTAJE DE VACÍOS EN MEZCLAS BITUMINOSAS DENSAS Y ABIERTAS.

REFERENCIAS : AASHTO T 269-91
ASTM D 3203 - 88

1. ALCANCE

Este método cubre la determinación del Porcentaje de Vacíos en mezclas asfálticas compactadas, densas y abiertas.

2. DOCUMENTOS AFINES

NOTA 1 : El lector puede consultar las referencias de este método para conocer los documentos afines al mismo.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

El proceso consiste en determinar la Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm) y la Gravedad Específica Bulk (Gsb) del especímen compactado, bajo los procedimientos indicados en los ENSAYOS N°36 y 37 de este Manual. El Porcentaje de Vacíos de Aire (Pa) en la mezcla compactada es calculado a través de la Ec. V. 12, la cual se definió en el CAPITULO V, y cuya forma es la siguiente :

$$Pa = \frac{Gmm - Gsb}{Gmm} \times 100 \qquad \text{(Ec. V.12)}$$

En donde :

Gmm = Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta
Gsb = Gravedad Específica Bulk de especímenes compacatados

4. SIGNIFICADO Y USO

El Porcentaje de Vacíos en una mezcla bituminosa es usado como un criterio en los Métodos de Diseño y para la evaluación de la compactación impartida a dichas mezclas al final de su colocación.

5. DEFINICIONES

5.1 Los términos Gravedad Específica y Densidad son los usados en los ENSAYOS N°36 y 37.

5.2 El término Vacíos de Aire fue definido en la Sección V.3.2 (Características y comportamiento de las mezclas bituminosas)

5.3 Mezclas Asfálticas Densas

Son aquellas mezclas bituminosas que en estado compactado, presentan un Porcentaje de Vacíos de Aire, menor del 10%, respecto de su volumen total.

5.4 Mezclas Asfálticas Abiertas

Son aquellas mezclas bituminosas que en estado compactado, presentan un Porcentaje de Vacíos de Aire, mayor o igual al 10% de su volumen total.

5.5 Discusión

Para casos frontera, una mezcla asfáltica puede ser designada como abierta si al calcular el "Pa", basado en los valores obtenidos de la Gmm y la Gsb, su valor es 10% o más.

6. EQUIPO

NOTA 1 : El equipo utilizado es el necesario para la realización de los ENSAYOS N°36 y 37.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Para mezclas asfálticas densas, se deberá obtener la Gravedad Específica Bulk de los especímenes compactados a través del procedimiento descrito en el ENSAYO N°37 y la Gravedad Específica Teórica Máxima a través del ENSAYO N°36.

7.2 Para mezclas asfálticas abiertas, se deberá determinar la Densidad de un especímen de mezcla compactado de forma regular, en función de su peso seco (en gramos) y su volumen (en cm^3). Se obtienen la altura y el diámetro del especímen, midiéndolos con un vernier. Cada uno de estos valores, deben ser el promedio de por lo menos cuatro lecturas. Se calcula el volumen del especímen

en base a estos promedios. Se convierte la Densidad a Gravedad Específica Bulk dividiendo su valor por 0.99707 g / cm^3 o 997 Kg / m^3 (Densidad del agua a 25°C). Determinar la Gravedad Específica Teórica Máxima mediante el procedimiento descrito en el ENSAYO N°36.

7.3 En casos de Arbitraje, se debe determinar tanto la Gsb como la Gmm sobre porciones proporcionales de la misma muestra de la mezcla bituminosa compactada

8. CÁLCULOS

Calcular el Porcentaje de Vacíos de Aire de la mezcla asfáltica compactada, de acuerdo a la Ec.V.12, mostrada en el Resumen del Método.

9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente :

9.1 La Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada a 25°C, con aproximación de tres cifras decimales.

9.2 La Densidad de la mezcla compactada a 25°C en Kg/ m^3 ó lb / pie^3.

9.3 El Porcentaje de Vacíos de la mezcla

9.4 Características de la mezcla de diseño, tales como tipo de mezcla, Contenido Óptimo de Asfalto (COA), Densidad correspondiente al COA, Porcentaje de vacíos de aire, VMA, Estabilidad y Flujo.

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. El procedimiento desarrollado esta basado sobre los ENSAYOS N°36 y 37, por lo tanto los comentarios relativos a este ENSAYO N°38, están descritos en los primeros mencionados.

10.2 De la utilidad del ensayo de Porcentaje de Vacíos de Aire

El valor obtenido de este ensayo se ve grandemente influenciado por las otras propiedades de la mezcla asfáltica, tales como la granulometría, el COA, etc. por lo tanto,

se vuelve necesario conocer si el Pa de la mezcla analizada, se encuentra dentro de los parámetros de diseño. El Instituto del Asfalto, recomienda como valores normales de Pa para superficie entre 3.0 y 5.0% (Ver TABLA V.9, CAPITULO V) y el 8% para bases asfálticas. Mezclas con valores bajo el límite inferior de este rango, tenderán a ser muy rígidas (mezclas quebradizas).

La durabilidad de un pavimento asfáltico es una función del contenido de Vacíos de aire. La razón de esto es el hecho de que, a menor Contenido de Vacíos la Permeabilidad de la mezcla disminuye. Contenidos de Vacíos altos en la mezcla son perjudiciales, ya que permiten la entrada de aire y agua al interior de la misma. Por otro lado, contenidos de Vacíos muy bajos provocan que la mezcla fluya, provocando que el exceso de asfalto fluya hacia la superficie de la mezcla.

La densidad y el contenido de vacíos están muy relacionados, ya que ante elevadas densidades se obtienen bajos contenidos de Vacíos de aire en la mezcla o viceversa. Usualmente las especificaciones de trabajo requieren densidades que permitan obtener valores adecuados para los contenidos de vacíos de aire, los cuales como ya se dijo oscilan entre 3 y 5% para superficie y menor de 8% para bases asfálticas.

ENSAYO N°39 EXTRACCION CUANTITATIVA DE BETUMEN EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS ASFALTICOS, UTILIZANDO EL MÉTODO DE LA CENTRÍFUGA

REFERENCIAS : AASHTO T 164 - 93
ASTM D 2172 - 93

1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación de la cantidad de betúmen en mezclas asfálticas en caliente para pavimentos y muestras de pavimentos. El agregado obtenido mediante este método puede ser usado para la realización del análisis granulométrico usando los métodos ASTM C 117 y C 136.

2. DOCUMENTOS AFINES

NOTA 1 : El lector puede consultar las referencias de este método para conocer los documentos afines al mismo.

3. RESUMEN DEL MÉTODO

La muestra de mezcla asfáltica es lavada con trichloroethylene, trichloroethane o chloride methylene usando una centrifugadora, a la cual se le instala un filtro para evitar que durante el centrifugado, pueda existir fuga de finos hacia fuera de la tolva que contiene la muestra de ensayo. El contenido de asfalto es calculado a través de la diferencia entre el peso inicial de la muestra y el peso final de los agregados sin asfalto. Esta diferencia se divide entre el peso inicial de la muestra y multiplicando por cien este resultado se obtiene el Porcentaje de Asfalto presente en la muestra de mezcla analizada.

4. SIGNIFICADO Y USO

Extraer el asfalto contenido en una muestra de asfalto significa, verificar el porcentaje de éste presente en aquella. Este valor es muy utilizado durante la aceptación de las capas de mezcla asfáltica tendidas a un pavimento, ya que, si el valor determinado sobrepasa el límite permisible, podrá rechazarse el tendido que contiene a esta mezcla, es decir es uno de los parámetros más utilizados durante el control de calidad de las carpetas asfálticas.

4

5. DEFINICIONES

5.1 Contenido de asfalto : Este concepto fue definido en la Sección **V.3.2 (Características y comportamiento de las mezclas).**

6. EQUIPO Y SOLVENTES

NOTA 2 : Para este propósito, el lector puede consultar las referencias de este ensayo . PELIGRO, LOS SOLVENTES UTILIZADOS SON TÓXICOS, POR LO QUE SE RECOMIENDA QUE EL OPERADOR DEL ENSAYO, SE PROTEJA CON MASCARILLA DE DOBLE FILTRO Y QUE ADEMÁS EL ENSAYO SE REALIZA EN UN LOCAL CON CIRCULACIÓN LIBRE DEL AIRE.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 La muestra de mezcla asfáltica previamente pesada, P1 (núcleo disgregado o porción de mezcla suelta) se coloca dentro de la centrifugadora y luego se le vierte una porción del solvente destinado para realizar el ensayo. En estas condiciones se deja reposar durante 5 min. con el propósito de lograr que el solvente disgregue aún más la muestra preparada para el ensayo.

7.2 Se registra el peso inicial del filtro como Pf1

7.3 Se cierra herméticamente la centrifugadora, de tal forma de evitar que durante el centrifugado exista fuga de finos.

7.4 Se acciona la centrifugadora gradualmente hasta lograr que la velocidad de rotación de la máquina sea la suficiente para permitir que el solvente agregado a la muestra comience, a salir de la misma

7.5 Detener la marcha de la centrifugadora cuando el solvente a dejado de salir del interior de la misma. Se le agrega más solvente, utilizando para ello, los conductos instalados de la misma (sin abrir la centrifugadora) y se vuelve a accionar el centrifugado. Este proceso se repite hasta que el solvente salga completamente limpio del interior de la centrifugadora. En ese momento se dice que la muestra está completamente lavada.

7.6 Al terminar este proceso se retira la tapa de la centrifugadora, se retira el filtro colocado, teniendo cuidado de no perder los finos adheridos al mismo durante el centrifugado, se seca por 15 min a 110°C, se registra su peso como Pf2, a la vez se saca la muestra lavada, se deposita cuidadosamente en una bandeja, se introduce por 30 min. dentro de un horno a una temperatura de 110°C, después de lo cual se registra su peso final (P2).

8. CÁLCULOS

Calcular el Porcentaje de Asfalto en la muestra de ensayo a través de la Ec.39.1, la cual es :

$$\%A = \frac{P1 - P2 - (Pf2 - Pf1)}{P1} \times 100 \qquad (\text{Ec. } 39.1)$$

Donde :

P1 : Peso inicial de la muestra de ensayo, g
P2 : Peso final de la muestra de ensayo, g
Pf1: Peso inicial del filtro, g
Pf2: Peso final del filtro, g

9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente :

9.1 Porcentaje de Asfalto de la muestra ensayada

9.2 Características de la mezcla de diseño, tales como tipo de mezcla, Contenido Óptimo de Asfalto (COA), Densidad correspondiente al COA, Porcentaje de vacíos de aire, VMA, Estabilidad y Flujo.

9.3 Tipo de solvente utilizado

10. COMENTARIOS

10.1 Del proceso de ensayo

a. El peso inicial de la muestra puede oscilar entre 650 a 700 g.

b. Los solventes indicados por los estándares, resultan ser costosos en El Salvador, por lo tanto un proceso de lavado alternativo se logra, lavando la muestra alternadamente con gasolina o thinner y el solvente estándarizado. En la práctica de campo, es normal aplicar a cada muestra de mezcla asfáltica, dos ciclos de gasolina o thinner por uno de solvente estandarizado, las veces que sea necesario para lavar completamente la muestra.

c. Debe tenerse cuidado con la velocidad de la centrifugadora, ya que excesivas velocidades de rotación pueden hacer que los finos de la muestra se escapen de la tolva que la contiene .

d. Si no existe horno para secado final del filtro y la muestra, estos se podrán secar colocándolos al sol por un tiempo aproximado de 45 a 60 min.

10.2 De la utilidad del ensayo de Extracción Cuantitativa de Asfalto

a. Este ensayo es considerado como de rutina durante el control de la mezcla asfáltica colocada en un proyecto específico de carreteras.

b. Normalmente los porcentajes de asfalto para las mezclas asfálticas en caliente, oscilan entre el 4.5 y 5.5 %, valores bajo o sobre estos límites pueden producir mezclas muy sueltas o muy inestables, respectivamente. En todo caso el COA dependerá de la cantidad de finos presentes en la mezcla.

c. Otro procedimiento de extracción de asfalto, es el que se describe como Método de Ensayo B, del estándar D 2172-93, el cual es recomendable en aquellos casos en donde se requiera recuperar el residuo asfáltico presente en una mezcla contaminada por agentes externos a la misma.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1 GENERALIDADES

En base a lo expuesto en los Capítulos anteriores, se presentan a continuación, las Conclusiones y Recomendaciones más relevantes de este trabajo, con el fin de destacar la razón de los aspectos que han sido tratados en los mismos.

Es de hacer notar que en el presente trabajo se incluyó una valiosa recopilación bibliográfica básica y actualizada, así como también experiencias de la práctica rutinaria en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos.

Para conformar este trabajo, fue necesario incluir información básica que trata sobre aspectos que aún siguen teniendo validez en el Laboratorio de Pavimentos, así también se ha incluido alguna información sobre adelantos tecnológicos, la cual podrá ser utilizada para que la persona interesada en el campo de los pavimentos, conozca que existen estas y otras metodologías modernas de ensayo, con las cuales se puede llegar a una mejor interpretación del comportamiento real de los materiales utilizados en proyectos de carreteras.

Se han incluido además en este Capítulo, algunas sugerencias en lo relativo a Trabajos Futuros concebidos de tal forma, que para su realización se desarrollen ensayos de laboratorio en donde pueda ser de utilidad el presente Trabajo.

Finalmente se presentan las Referencias y la Bibliografía consultada para la conformación de este Manual de Laboratorio de Pavimentos.

VII.2 CONCLUSIONES

Considerando lo indicado en los Capítulos anteriores, se concluye lo siguiente :

1. Dada la necesidad actual que existe de formar los cuadros técnicos y profesionales conocedores de las diferentes áreas de las Carreteras, se justifica la implementación de la asignatura **Laboratorio de Pavimentos** en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, la cual deberá estar sustentada en la información bibliográfica incluida en este **Manual de Laboratorio de Pavimentos.**

2. Este trabajo es una guía muy importante para los docentes del área de Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil, así como también para todos los Profesionales envueltos en el quehacer de la construcción y rehabilitación de las carreteras en El Salvador, dado que contiene información sobre los procedimientos rutinarios utilizados para realización de ensayos de laboratorio y los estándares de comparación que más se utilizan para normar la calidad de los materiales usados en los proyectos de carreteras.

3. Es necesario reorganizar y reequipar con equipo moderno el Laboratorio de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil, dado que las circunstancias actuales demandan que la Universidad de El Salvador sea más competitiva tanto en los servicios de laboratorio que en ella se prestan, como en lo relativo a la formación de los cuadros técnicos y profesionales en el área de Pavimentos, que el País esta demandando para la buena construcción y funcionabilidad de las vías de comunicación que se están construyendo o se construirán el el futuro.

4. En este Trabajo se ha incluido el estudio de las Emulsiones Asfálticas, ya que el conocimiento de las mismas y de los procedimientos para su ensayo de laboratorio, son nuevas tecnologías que habrá que adecuar a las condiciones locales del País.

5. Se han incluido los métodos de diseño Marshall, para mezclas asfálticas en caliente y el del Instituto Americano del Concreto (ACI) para concreto hidráulico de peso normal, ya que generalmente las especificaciones técnicas de carreteras en El Salvador, indican que estos son los métodos que deberán usarse para determinar los parámetros de diseño de las mezclas asfálticas y concretos hidráulicos.

6. Dado que para el desarrollo de los trabajos de carreteras es fundamental la implementación del Laboratorio de Control de Calidad en el Campo, se ha incluido en el CAPITULO VI de este **Manual de Laboratorio de Pavimentos** las Funciones, Alcances y Limitaciones que a éste mismo competen, en base a aspectos recogidos de la experiencia obtenida en la práctica rutinaria de campo.

7. Los Comentarios que se incluyen al final de cada ensayo, ayudarán a formarse un mejor criterio para el desarrollo del mismo, dado que tratan sobre aspectos que denotan tanto el uso del procedimiento de ensayo respectivo, como el de los resultados obtenidos en cada uno de éstos.

8. Este Manual de Laboratorio de Pavimentos es importante porque en él se ha recopilado información bibliográfica sobre el estudio de suelos, materiales pétreos, asfaltos y diseño de mezclas asfálticas e hidráulicas, dado que en El Salvador hay muy poca divulgación de literatura especializada en el área de Pavimentos.

VII.3 RECOMENDACIONES

En base a los aspectos que se incluyen en cada CAPITULO del Trabajo desarrollado, se presentan a continuación las Recomendaciones más relevantes :

1. Revisar el Currículo de Asignaturas del área electiva de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, a fin de volverlo más flexible y acorde con las circunstancias y necesidades presentes y futuras del País, ya que solo así, se podrá responder a las necesidades de formación que demandarán los nuevos profesionales de la Ingeniería Civil.

2. A la base de un reequipamiento adecuado en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, se recomienda implementar como Técnica Electiva, la asignatura " Laboratorio de Pavimentos", ya que por ser una asignatura de naturaleza práctica, creará un nuevo ámbito para la enseñanza, la investigación y los servicios que en éste se desarrollan constantemente, dándose así el giro que es necesario experimentar en este mismo.

3. A la base de las investigaciones que se desarrollen y de los servicios que se presten en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil, se recomienda crear un archivo de datos o resultados de laboratorio, el cual sea accesible a estudiantes y profesionales, con el fin de que el mismo, pueda servir de ayuda en el momento en que estos lo necesiten para un proyecto específico.

4. En base a las necesidades de equipo de laboratorio que existe en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, se sugiere destinar fondos para el reequipamiento del mismo, ya sean de los generados por los servicios de laboratorio o adquiridos a través de un financiamiento externo, de tal forma de poder contribuir verdaderamente a la formación de nuevos profesionales mejor capacitados.

5. Se sugiere utilizar este Manual para actualizar a los Docentes de la Escuela de Ingeniería Civil dentro de un Programa UES-EMPRESA PRIVADA, que incluya la capacitación de los mismos en el Laboratorio de Pavimentos, dado que es necesario que los mismos cuenten con suficientes conocimientos y experiencia para impartir las cátedras que se involucran en esta área de las carreteras.

6. Tomando en cuenta la necesidad de Recurso Humano capacitado en el área de Laboratorio de Pavimentos, que tienen las Empresas Públicas y Privadas, se sugiere implementar cursos de capacitación y actualización, para la formación de nuevos Laboratoristas del área de Pavimentos, tomando como texto guía los procedimientos de laboratorio que se describen en este Manual.

7. De acuerdo al momento en que se encuentra el País, se sugiere reequipar actualizadamente el Laboratorio de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, atendiendo tanto a las necesidades de formación de los estudiantes como a los ensayos que más se demanden en los servicios de laboratorio prestados por esta Escuela a personas o Empresas particulares.

8. Se sugiere que al implementar la asignatura Laboratorio de Pavimentos, se realicen visitas de campo o giras técnicas, a carreteras o tramos de éstas que se estén construyendo o ya se encuentren construidas, a fin de poder dar más soporte a los aspectos considerados en este Manual.

9. Crear una Sección de Pavimentos en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, la cual deberá estar al día con los adelantos tecnológicos que se estén dando a nivel mundial, en cuanto a nuevos ensayos de laboratorio y nuevas especificaciones en lo relativo a los Pavimentos. Dicha unidad deberá contar con los recursos necesarios para la consecución de tal fin (computadoras enlazadas a la red Internet, inscritas en asociaciones internacionales relacionadas con el tema).

VII.4 TRABAJOS FUTUROS

Considerando la aplicabilidad de este Trabajo, se sugieren los siguientes Trabajos Futuros :

1. Afinidad Agregado-Emulsión, para emulsiones Catiónicas de Rompimiento lento.

   El trabajo consiste en investigar los agregados locales más afines a las emulsiones asfálticas de rompimiento lento, en tres cualesquiera tipos de éstas.

2. La calidad de los productos asfálticos para carreteras introducidos a El Salvador

   En los últimos años, tanto los productos asfálticos distribuidos por la RASA como los procedentes de ASFALTOS DE GUATEMALA, han generado algunas dudas sobre su calidad, a causa de algunas de sus características físicas (como el olor). Es necesario investigar aspectos ya sea de origen o de manejo de estos, que puedan ser los causantes de estas anormalidades detectadas en estos productos asfálticos, los cuales posiblemente sean la causa de los fallamientos que se están produciendo en las carreteras que actualmente se están reconstruyendo.

3. Efecto de diversas condiciones de campo sobre la vida útil de los pavimentos en El Salvador

   Se deberá investigar sobre aspectos como miscibilidad asfalto-agregado, efecto de los diferentes tipos cargas sobre la mezcla y los agregados que las componen, efecto de las precipitaciones y las condiciones climáticas sobre las mezclas asfálticas colocadas. Se sugiere investigar en especial el efecto de la temperatura ambiente sobre el Punto de Reblandecimiento del asfalto, dado que investigaciones recientes han demostrado la influencia de esta propiedad de los asfaltos en el comportamiento de las mezclas asfálticas en servicio.

4. Determinación de las Causas de la fatiga en las mezclas asfálticas de los pavimentos flexibles de El Salvador.

   El trabajo debe consistir en investigar utilizando la viga Benkelman u otro equipo, las causas de la fatiga en los pavimentos flexibles de El Salvador. Deberán investigarse aspectos como cargas impuestas, tipos de agregados, tipos de asfalto, causas climáticas, etc.

5. Determinación del envejecimiento prematuro de las mezclas asfálticas en caliente en El Salvador.

Se ha observado en la práctica, que exiten muchos pavimentos asfálticos que han experimentado evejecimiento prematuro denotado por la aparición de piel de cocodrilo. Este fenómeno puede ser causado por varios factores, entre los que se mencionan bases y sub-bases saturadas, mala calidad de asfaltos, condiciones climáticas, etc.

6. Asfaltos modificados con polímeros

Deberá investigarse sobre los usos mas adecuados de algunos polímeros con asfalto para el logro de resultados satisfactorios ya que la adición de algunos de éstos incrementan la rigidez del asfalto y mejora la susceptibilidad que el asfalto tiene a las temperaturas ambientales.

7. El proceso de Reciclado con Emulsiones Asfálticas en El Salvador.

Se debe enfocar este trabajo, hacia determinar el procedimiento constructivo de campo para lograr una mejor compactación de bases recicladas con emulsión asfáltica. Algunas experiencias locales no han sido satisfactorias a causa de haberse desarrollado sino un mal proceso constructivo, pero si, secuencialmente no adecuado.

8. Crear un Programa de Evaluación del estado actual de las carreteras existentes en El Salvador.

Este trabajo debe implementarse tomando en consideración un tramo representativo de carretera, debiéndose desarrollar en combinación con el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) .

VII.5 REFERENCIAS

1. **Ayala R., De León S. y Oliva A.(1995)*1**

PROPUESTA PARA REEQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

2. **Melara R., Hernández V. y Morán R, (1982)*2**

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS :
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DEL METODO MARSHALL EN EL SALVADOR, 1982

VII.6 BIBLIOGRAFIA

1. ASTM, Annual Book of ASTM Standars (1993), Road and Paving Materials, Paving Management Technologies; Section 4. Construction. Volume 04.03 Editorial Staff, U.S.A.

2. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.(1994), Innovaciones Tecnológicas en Vias Terrestres.
Memória, XI Reunión Nacional de Vias Terrestres, Morelia, México
Publicado por AMIVT, México

3. AASHTO (1993), Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Sixteenth Edition
Part I, Specifications and Part II, Tests
Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. U.S.A.

4. ASTM Annual Bood of ASTM Standars (1994), Concrete and Aggregates, Section 4, Construction, Volume 04.02
Editorial Staff, U.S.A.

5. ASTM Annual Book of ASTM Standars (1994), Soil and Rock, Section 4, Construction, Volume 04.08
Editorial Staff, U.S.A.

6. AASHTO (1993), Guide for Design of Pavement Structures
Publicado por AASHTO, U.S.A.

7. Crespo V, Carlos, Ing. (1992), Vías de Comunicación. Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos
Segunda Edición, Editorial Limusa, México

8. Celaya Norman A. y Zamora M. Francisco (1989), Instructivo de Laboratorio para Geotécnia.(Primera Parte). División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica Departamente de Geotécnia. Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
Publicado por UNAM, México

9. David F MacCarty (1977), Essentials of Soil Mechanics and Foundation
Editorial Prentice - Hall, U.S.A.

10. Guzman U., Mario Angel, Ing. MI, (1984), Diseño de Pavimentos. Métodos de Diseño Estructural.
Documento de Seminario, ASIA, El Salvador, C.A.

11. Melara Ruíz, Enrique E., Ing.
Hernández Villatoro, Isidro A., Ing.
Morán Rojas, Ana Coralia E, Ing.
Trabajo de Graduación, U.E.S.(1982), Diseño de Mezclas Asfálticas :" Algunas consideraciones sobre la aplicación del método Marshall".

12. Melara Ruíz, Enriqu E, Ing, Msc (1989), Simpósio sobre Cimentaciones
Análisis e interpretación de resultados de un estudio Geotécnico
Publicado por ASIA, El Salvador, C.A.

13. Moncayo, Jesús, Ing.(1980), Manual de Pavimentos, Asfalto, Adoquín, Empedrado y Concreto
Primera Edición
Compañía Editorial Continental, S.A., México

14. Portland Cement Association(1995), Design and control of Concrete Mixtures
Thirteenth Edition
Publicado por PCA, U.S.A.

15. Sánchez Rosado, Domingo, Ing., (1987), Materiales Asfálticos usados en Pavimentación, Dirección General de Servicios Técnicos, Sector de Comunicación y Transporte, Sub-Secretaría de Infraestructura,
Publicado por la Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT), México

16. Shayder William A. and Wohlscheid Thomas E., (1981), Marshall Method Mix Design for Asphalt Concret Mixture, New York Satate Departement of Transportation
Publicado por New York Satate Departement of Transportation, U.S.A.

17. Sowers and Sowers (1983), Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones
Cuarta Reimpresión
Editorial Limusa, México

18. The Asphalt Institute,(1993), Manual Series N°1., Thickntees Design Asphalt Pavements for Highways and Streets.
Publicado por IA, U.S.A.

19. The Asphalt Institute,(1993), Manual Series N°19., A Basic Asphalt Emulsion Manual
Publicado por IA, U.S.A.

20. The Asphalt Institute, (1993), The Asphlt Handbook, Manual Series N°4.
Hinkle Memorial Library, U.S.A.

21. The Asphalt Institute, (1993), Manual Series N°22, MS-22, Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements.
Publicado por IA, U.S.A.

22. U.S. Department of Transpotation., (1992), Standar Specification for Construction of Roads and Bridges on Federal Highways, Federal Highways Administration Projects. FP - 92, U.S.A.

23. Valle Rodas, Raúl, Ing., (1976), Carreteras, Calles y Aeropistas
Sexta Edición
Editorial El Ateneo, Buenos Aires Argentina.