



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN**

**CALIDAD EN LOS MATERIALES PARA ESTRUCTURACION  
DE CARRETERAS**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**DARVY LEYVA REYES**

**Asesor: Ing. Celso Barrera Chávez**

**ENERO DE 2005**

m.340414



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

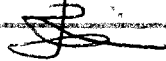
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: DARVY LEYVA REYES

FECHA: 27-ENE-2005

FIRMA: 

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	2
I. GENERALIDADES	5
A. PRINCIPALES ANTECEDENTES DE LAS CARRETERAS EN MÉXICO	6
B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	8
C. LA CARRETERA COMO ESTRUCTURA	10
II. MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS	21
A. FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS	22
B. ASFALTOS	28
III. PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS	33
A. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS	34
B. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS	39
IV. MUESTREO DE MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS	43
A. IMPORTANCIA DEL MUESTREO	44
B. MUESTREO DE FRAGMENTOS DE ROCA	44
C. MUESTREO DE SUELOS	44
D. MUESTREO DE ASFALTOS	46
E. TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS MUESTRAS	47
V. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS	49
A. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS	50
B. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS	85
CONCLUSIÓN	119
APÉNDICE	122
BIBLIOGRAFÍA	137

## INTRODUCCIÓN

- CONSIDERACIONES DE LA CALIDAD
- LA CALIDAD APLICADA A LOS MATERIALES PARA CARRETERAS
- DESCRIPCIÓN BREVE DEL CONTENIDO DE LA TESIS

## - CONSIDERACIONES DE LA CALIDAD

Todos los bienes que el hombre moderno produce, para satisfacer las necesidades de la sociedad actual, tienen que ser sometidos a estudios de calidad antes de ser fabricados. Dicho de otra manera: Para que un bien pueda ser empleado satisfactoriamente, al cumplimiento de algún propósito específico, tiene que ser diseñado y fabricado de acuerdo a las exigencias que la calidad establece para ello. Esto tiene que ser así, pues la finalidad del bien o producto es cumplir un propósito predeterminado.

Pero, ¿qué es la calidad, en términos de lo anteriormente expuesto? La calidad, tal como se considera en las normas internacionales, es el conjunto de propiedades y características que hacen a un bien o producto apto para satisfacer una o varias necesidades preestablecidas.

La calidad, por lo tanto, depende de las características y propiedades que el producto debe satisfacer para su adecuado uso y por esto siempre será variable, aún cuando sea aplicada a un mismo producto. Así, al hablar de calidad, es necesario diferenciar entre calidad de especificación y calidad de conformidad.

La calidad de especificación resulta de las especificaciones con las que determinado producto debe ser fabricado y también se le llama calidad de diseño. Ésta puede ser variable, dependiendo de si las restricciones son variables para un mismo producto. En tal caso, existirá diferencia en la futura aptitud del producto para satisfacer la necesidad preestablecida.

La calidad de conformidad se obtiene cuando cierto producto puede satisfacer en distintos grados las especificaciones de su fabricación. Esta calidad puede ser más o menos aceptable y se dice que es el grado de conformidad que un producto ha alcanzado respecto de los requisitos de calidad que las especificaciones del mismo establecen. A ésta también se le llama calidad de fabricación.

Por la anterior definición se puede afirmar que la calidad de un producto corresponde a distintos niveles de aceptación, dependiendo de si el producto satisface en cierta medida los requisitos previamente establecidos para su adecuado uso.

La calidad de un producto, entonces, se fundamenta en ciertas características y propiedades que garantizarán su uso adecuado y que han de ser asignadas antes de la fabricación. Estas características y propiedades son llamadas parámetros de calidad y constituyen los elementos que definen la calidad de un producto. Por ejemplo, para un producto mecánico o electrónico, los parámetros de calidad pueden estar relacionados al funcionamiento, la fiabilidad, la seguridad y la apariencia, mientras que para un producto farmacéutico serán importantes ciertas características físicas y químicas, el efecto medicinal, el sabor, la caducidad, etc.

Para que la calidad garantice la satisfacción del propósito asignado al producto antes de su fabricación, es necesario que los parámetros de calidad tengan valores permitidos llamados límites de especificación. Estos límites constituyen los requisitos de calidad, que definen las especificaciones de fabricación del producto. Así, los requisitos de calidad toman la forma de los límites o valores de diferentes características y propiedades del producto, y cada uno de ellos indicará que el parámetro de calidad que lo registra no debe encontrarse fuera de la restricción por él establecida, pues, de lo contrario, la fabricación del producto será defectuosa y éste no será apto para satisfacer la función previamente asignada.

## - LA CALIDAD APLICADA A LOS MATERIALES PARA CARRETERAS

Puesto que los materiales para carreteras siempre tendrán finalidad estructural antes de ser explotados o procesados, las consideraciones anteriores de la calidad son también aplicables a ellos, sin importar que no todos sean bienes o productos de fabricación.

Así, pues, lo que se expone en este trabajo es una manera modesta de tratar la calidad de los materiales con los que se estructuran las carreteras en nuestro país, calidad que tendrá el propósito de un buen funcionamiento estructural. Desde luego que el buen funcionamiento estructural de una carretera depende de otros factores no menos importantes, que se contemplan en la etapa del diseño, pero en principio ha de tomarse en cuenta la revisión de la calidad de los materiales mediante el cumplimiento de una serie de restricciones impuestas a sus parámetros de calidad, siendo las restricciones las representadas por los requisitos de calidad.

La calidad de los materiales para estructuración de carreteras será tratada en el sentido de la calidad de conformidad al que nos referimos anteriormente. Esto debe ser así, ya que la calidad de especificación no es estrictamente aplicable a ellos, pues, como veremos más adelante, las restricciones a sus parámetros de calidad toman en consideración márgenes de tolerancia específicos que dan por resultado calidades con diversos grados de aceptación.

## - DESCRIPCIÓN BREVE DEL CONTENIDO DE LA TESIS

Por otra parte, no es posible tratar la calidad de los materiales para estructuración de carreteras sin considerar previamente otros aspectos importantes, además de tratar en qué consiste esta estructuración. Y es que, como se verá en su momento, la calidad de estos materiales está estrechamente relacionada a la construcción de varias capas específicas que forman la estructura de las carreteras. Por todo esto, en el capítulo I se trata como generalidades los principales antecedentes de las carreteras, considerando las etapas prehispánica, colonial e independiente de nuestro país; también se incluye la definición y clasificación de carreteras en México y los aspectos técnicos que justifican la naturaleza estructural de las carreteras, es decir, la distribución de esfuerzos en su interior y sus deformaciones y fallas estructurales. Después, en el capítulo II se describe el origen, composición física y clasificación de los materiales para estructuración de carreteras. El capítulo III contiene los parámetros de calidad para materiales de estructuración de carreteras y sólo se indican en cuanto a sus valores limitados que se deben aplicar a estos materiales para ser destinados a las carreteras. El capítulo IV trata acerca del muestreo en cuanto a su importancia y ejecución y también considera el tratamiento preliminar que las muestras de los materiales deben cumplir para ser ensayadas en el laboratorio. Finalmente, en el capítulo V se expone la manera en

que la calidad de los materiales queda determinada por procedimientos estándares ejecutados en el laboratorio, los cuales permiten la revisión de los requisitos asignados a los parámetros de calidad. Además, se incluye la conclusión y un apéndice que contempla la manera de obtener, también por procedimientos prácticos, el valor de aquellas variables necesarias para la determinación de algunos parámetros de calidad que los requieren.

## I. GENERALIDADES

- A. PRINCIPALES ANTECEDENTES DE LAS CARRETERAS EN MÉXICO
  - 1. LA ETAPA PREHISPÁNICA
  - 2. LA ETAPA COLONIAL
  - 3. LA ETAPA INDEPENDIENTE
- B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS
  - 1. DEFINICIÓN DE CARRETERA
  - 2. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO
- C. LA CARRETERA COMO ESTRUCTURA
  - 1. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN EL INTERIOR DE LA CARRETERA
  - 2. DEFORMACIONES Y FALLAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA



## A. PRINCIPALES ANTECEDENTES DE LAS CARRETERAS EN MÉXICO

La evolución de las carreteras en nuestro país, como en el resto del mundo, inició cuando el hombre se agrupó socialmente para buscar los medios de subsistencia y comunicarse con sus semejantes.

Originalmente las vías de comunicación fueron angostas veredas; sin embargo, conforme los grupos sociales crecieron, las necesidades de traslado aumentaron y demandaron mayor interés en la apertura de nuevos y mejores caminos. En todo el mundo, desde el principio los caminos se han construido con fines comerciales y nuestro país no ha sido la excepción, aunque no se puede ignorar el propósito religioso que imperó en la civilización maya, ni el expansionista que caracterizó a los colonizadores de la Nueva España. Se puede afirmar, por lo tanto, que el relativo progreso de los caminos nacionales ha tenido que ver con la expansión comercial y con el desarrollo que el país puede obtener del intercambio comercial. Y es que, sólo desde 1925 nuestras carreteras se vienen construyendo bajo la idea importante de ser indispensables para el progreso de la nación, idea que fue concebida demasiado tarde si se toma en cuenta que, para entonces, México ya contaba con un siglo de independencia.

Como veremos en las etapas siguientes, en nuestro país el progreso de las carreteras no ha sido excepcional, debido a motivos diversos, como el que las carreteras, desde la Colonia, sean construidas bajo la responsabilidad de funcionarios gubernamentales incompetentes y corruptos.

### 1. LA ETAPA PREHISPÁNICA

Las culturas prehispánicas que más destacaron en la construcción de caminos en nuestro país fueron la maya y la mexicana. A pesar de no conocer la rueda, para la posible adaptación de algún medio de transporte, ni contar con animales para carga, estos pueblos realizaron numerosos caminos para propósitos comerciales y religiosos.

Los mayas construyeron una red de caminos para comunicar las principales poblaciones del imperio y la mayoría fue simple adaptación de una franja de terreno mediante la eliminación de la vegetación. De ellos destacaron los sacbé o caminos sagrados, construidos asentando pedazos de piedra sobre la tierra floja y uniéndolos con un recubrimiento superficial formado por la mezcla de tierra blanca y sustancias minerales y vegetales. Muchos de estos caminos conducían a los santuarios religiosos y el más antiguo iniciaba en el templo de Kukulcán y finalizaba en el senote sagrado de Chichén-Itzá. El más largo de ellos unía las ciudades de Coba y Yaxuna y presentaba desviaciones hacia los senotes sagrados en su casi 100 Km. Actualmente en Yucatán y Quintana Roo existen seis de estos caminos.

De los mexicas se ha comprobado la construcción de muchas rutas que formaron un sistema de comunicación que unía la capital Tenochtitlán con el resto de los centros urbanos establecidos en el Valle de México. Hacia el exterior, los caminos mexicas llegaban hasta la región mixteco-zapoteca y Centroamérica, y hasta la región maya, pasando por Papanitla y Veracruz, siguiendo la costa del Golfo de México.

La importancia que los mexicas dieron a los caminos, que en su mayoría fueron angostas veredas hacia el exterior, quedó demostrada cuando, al entrar en guerra contra los xochimilcas y vencerlos, los obligaron a construir un camino para comunicar Xochimilco con Tenochtitlán. La obra consistió en abrir la ruta y tender una capa de piedras revuelta con tierra a lo largo de ella.

### 2. LA ETAPA COLONIAL

Durante la Colonia fueron mejorados algunos caminos y se construyeron otros más. El primer camino de este periodo se construyó en 1522, por orden de Cortés, y comunicó la capital de la Nueva España con Puebla y Veracruz. Después fueron construidos otros por decisiones de algunos virreyes, que no necesitaron pensar demasiado en el beneficio de la vialidad, sino únicamente considerar la probable ventaja comercial que el centro del virreinato podía obtener del resto del territorio conquistado. Basta mencionar que, en 1596, Luís de Velasco ordenó la apertura de un camino hacia Acapulco, siendo el principal motivo la feria anual que allí se celebraba y en la que se exponía variedad de productos traídos por la embarcación *nao* desde Asia.

Poco a poco la actividad comercial en la Nueva España llegó a ser importante y provocó la construcción de algunos caminos financiados por terratenientes, como el de Ixmiquilpan hacia el norte, que fue hecho por Miguel Cuevas en 1650.

Desde 1574 la construcción y conservación de caminos en la Colonia fue responsabilidad de los consulados, que obtenían recursos financieros de los impuestos a las mercancías de importación y del cobro por peaje.

Al finalizar el virreinato, la Nueva España contaba con más de 27,600 Km de caminos y de estos sólo 7,600 Km permitían circulación de carretas tiradas por animales y el resto era apto para tránsito a pie o a caballo. Evidentemente todos estos caminos eran terracerías abruptas carentes de tecnología.

### 3. LA ETAPA INDEPENDIENTE

En México independiente, el gobierno federal mostró preocupación por los caminos del país al crear en 1842 el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Puentes y Calzadas. En 1846 creó la Dirección General de Colonización e Industria, asignándole financiamiento para la conservación de los principales caminos transitados. Esta Dirección fue sustituida en 1853 por la Secretaría de Estado y del Departamento de Fomento, que publicó en 1856 *Los Itinerarios y Derroteros*, en donde los caminos fueron oficialmente llamados carreteras y sus distancias quedaron establecidas en leguas.

Desde 1849 fueron populares las diligencias y fue necesaria la intervención de las autoridades para mejorar las malas condiciones de los caminos. En 1867, el presidente Juárez decretó un impuesto a la gasolina para sustituir al de peaje y así obtener mayores recursos

para la conservación de caminos. Poco después, el Congreso de la Unión autorizó el primer presupuesto para carreteras por 1.2 millones de pesos.

De la desintegración de la Secretaría de Estado y del Departamento de Fomento, creada por Juárez, Porfirio Díaz formó en 1891 la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, que asumió el control de las carreteras del país. En este tiempo, la responsabilidad de ampliar la red nacional no era sólo del gobierno federal, pues los Estados se ocupaban ya de las rutas vecinales mediante la aplicación de tecnología deficiente, que hacía lenta la construcción. También algunos caminos quedaban en desuso por falta de conservación, como la carretera de Tula a Ciudad Victoria, que fue admirada por sus 34 Km. construidos a través de la Sierra Madre Oriental y fue abandonada después de concluida por falta de conservación. Así mal aprovechaba el gobierno federal el financiamiento que obtenía de algunas inversiones extranjeras.

La "era moderna" de las carreteras en México inició en 1925, cuando el presidente Elías Calles y los gobernadores estatales aprobaron reformas para ampliar la limitada red carretera del país, destacando, entre otros, dos acuerdos importantes: La construcción de carreteras como prioridad nacional y la creación de la Comisión Nacional de Caminos.

Esta Comisión, separada de la burocracia gubernamental, realizó en los primeros tres años 247 Km de caminos asfaltados, 332 Km de caminos revestidos y 700 Km de nuevos caminos de terracerías. Eficientemente trabajó hasta 1932 y fue sustituida por la Dirección General de Caminos, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. De esta manera las carreteras del país quedaron de nuevo bajo el deficiente control burocrático gubernamental.

Durante la gestión de Abelardo Rodríguez (1932-1934) surgió la Ley de Vías Generales de Comunicación, que incluyó financiar las carreteras estatales en dos partes: 50 % el gobierno federal y 50 % el gobierno estatal.

En 1934 las carreteras del país sumaban 4 260 Km, de los que 1 183 Km eran asfaltadas. Este kilometraje fue limitado para el territorio nacional y en los años siguientes fue más, por la producción masiva de vehículos con la llegada de las ensambladoras General Motors (1937) y Chrysler (1938).

De 1940 a 1952, el turismo nacional fue la causa por la que se pretendió ampliar la red carretera del país, pero los Programas de Ávila Camacho y Alemán Valdés no lograron sus propósitos. También, en 1947, los caminos rurales fueron considerados prioridad nacional al crearse el Departamento de Planeación y Fomento de Caminos Vecinales, dependiente de la Dirección General de Caminos, y la financiación de nuevos caminos se repartió igualmente entre el gobierno federal, el gobierno estatal y los particulares beneficiados.

En 1947, empresas relacionadas a la transportación por carreteras fundaron la Asociación Mexicana de Caminos, con los propósitos principales siguientes: Que el gobierno federal asignara correctamente los recursos captados de particulares a la modernización de las carreteras, impulsar la construcción de caminos vecinales, publicar recomendaciones para el buen tránsito por carreteras, traer mejores técnicas de proyecto y construcción de carreteras vigentes en países desarrollados y fomentar financiación privada para la construcción de carreteras modernas.

En 1950, las carreteras más transitadas del país estaban pavimentadas y muchas tenían señales y características aceptables. Por consecuencia los traslados se hacían con relativa rapidez y seguridad. Luego, en 1952, fue puesta en operación la primera carretera de cuota, uniendo México y Cuernavaca, siendo el financiamiento promovido por la Asociación Mexicana de Caminos. Con esta carretera, nuestro país inició la red de carreteras de altas especificaciones.

Durante los cincuenta fueron construidos muchos kilómetros de carreteras de diversas categorías y la red nacional sumó 44 890 Km en 1960. Así fue comunicado el 27 % del territorio nacional, según cifras oficiales.

Para administrar y construir modernas carreteras, en 1958 el gobierno federal creó Caminos Federales de Ingresos que, en 1963, fue sustituido por Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

Posteriormente, el gobierno federal propuso acceder a regiones marginadas del país mediante algunos programas gubernamentales, que lograron muchos kilómetros de caminos transitables todo el año.

En 1969 el país contaba con 71 500 Km de carreteras, de los que 42 760 Km estaban asfaltados y más de 10 000 Km eran carreteras de acceso controlado. Con esto, después de 45 años los caminos del país fueron diversos pero deficientes.

Para 1980 había muchas carreteras pavimentadas pero deterioradas porque, según el gobierno federal, el crecimiento económico y demográfico del país había provocado mayor circulación de automóviles y camiones. Esta afirmación no fue totalmente cierta, porque la conservación de las carreteras era deficiente y dependía de la irresponsabilidad gubernamental.

El deterioro de la red carretera nacional fue mayor en los siguientes años, pues, por la crisis económica de principio de los ochenta, las carreteras del país no crecieron ni mejoraron lo necesario para recibir más de 7.5 millones de vehículos automotores que circularon al final de la década. Lo que sí hizo el gobierno federal fue sustituir nuevamente la Dependencia encargadas de las comunicaciones: En 1981 desapareció la Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas y se creó la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Esta última resultó ser la restauración de la Secretaría de Comunicaciones y Obras públicas desintegrada en 1959.

Para finales de los noventa la red carretera del país era de 240 000 Km y las carreteras más modernas sumaban 4 600 Km. Por esta raquítica modernización de la red nacional, en 1989 el gobierno de Salinas de Gortari inició el Programa Nacional de Autopista y Puentes de Cuota Concesionados, que permitió al sector privado invertir en nuevas carreteras modernas y realizó más de 6 000 Km de carreteras de acceso controlado. Posteriormente este programa resultó ineficaz y obligó a implantar un plan emergente de rescate a favor de los inversionistas, por lo que el gobierno federal trasladó la carga financiera a los contribuyentes del país.

Durante el sexenio del presidente Ernesto Cerdillo no se iniciaron nuevos programas en beneficio de las carreteras, por la crisis económica que el país sufrió en diciembre de 1994.

Para mediados de 2004 la red carretera del país sumó 325 000 Km, debido a programas rezagados de construcción de carreteras activados por el presidente Vicente Fox.

Como se puede deducir, las carreteras del país adolecen de un gran retraso, y sólo nos queda tener la esperanza de algunos especialistas, quienes aseguran que en el futuro las carreteras de acceso controlado deberán igualar paralelamente a las carreteras de acceso libre.

## B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS

En la actualidad, algunos especialistas mexicanos, al referirse a la estructuración de carreteras aplican los términos pavimento y terracería. El pavimento, según dicen, consta de por lo más tres capas de materiales específicos de buena calidad, en tanto que la terracería es formada por no más de dos capas de materiales de calidad regular. Así, el conjunto de capas llamado pavimento se debe colocar encima del conjunto de capas llamado terracería y ambos deberán ser colocados sobre la franja de terreno que actuará como cimentación.

Nunca ha sido técnicamente útil considerar la carretera como la conjunción de dos grupos independientes de capas y sólo en México pocos especialistas lo consideran así. Lo más correcto es hablar de ella como un conjunto de capas en el que los materiales tienden a ser de mayor calidad conforme cada capa ocupa un lugar más superficial respecto del terreno de cimentación. Además, el término pavimento es definido como un recubrimiento de material resistente que es colocado sobre la superficie del suelo.

### 1. DEFINICIÓN DE CARRETERA

El término carretera no se limita a una definición rigurosa; por esto, para lo que aquí conviene, en seguida se dan dos definiciones que son complementarias:

La carretera es una vía de circulación, situada fuera de las zonas urbanas, construida y dispuesta para soportar el tránsito de vehículos de cualquier naturaleza. En esta definición se incluye los caminos con superficie de tierra adaptada al tránsito variado, como también los que poseen una capa de rodamiento hecha con mezcla asfáltica u otro material resistente y que, en su fase más moderna, permiten el tránsito exclusivo de automóviles y camiones.

La otra definición es más técnica y refleja el aspecto estructural de la carretera, siendo éste el que más nos interesa. Así, diremos que la carretera es una estructura formada por la superposición de varias capas de materiales, de calidades específicas y espesores distintos, las cuales, ocupando una larga franja de terreno que actúa como cimentación, permiten el rápido desplazamiento de los vehículos automotores.

La anterior definición describe a la carretera en su forma más completa y las capas integrantes son generalmente cinco y se denominan y superponen como se indica en seguida:

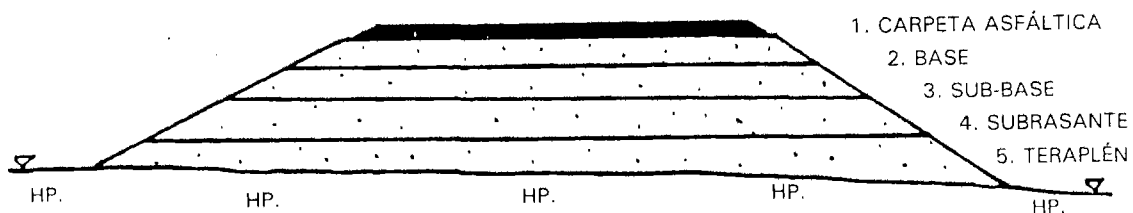


FIGURA 1.1  
CAPAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA

Dependiendo de ciertos factores, el número de capas anterior podrá variar sin que por ello la carretera deje de llamarse como tal. Si esta variación se produce en el orden descendente de la superposición indicada, dará origen a que la carretera sea cada vez de menor

calidad, pues las capas anteriores también son de calidad cada vez menor si son ubicadas más profundamente respecto del nivel de la superficie de rodamiento.

## 2. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO

Las carreteras en México se clasifican de la siguiente manera:

### a. CLASIFICACIÓN ECONÓMICA

En todo el mundo la decisión de cuándo y porqué debe construirse una carretera corresponde a las distintas entidades gubernamentales y la decisión se fundamenta en la utilidad socioeconómica que de ella se espera obtener.

El estudio socioeconómico de las carreteras ha permitido considerarlas obras de infraestructura necesarias para el desarrollo de nuestro país. Por esto, las carreteras deben ser evaluadas y programadas antes de ser realizadas. La evaluación determinará si el proyecto de la construcción se justifica o no en función de los beneficios socioeconómicos que ellas puedan aportar a la economía nacional. Desde este punto de vista es que las carreteras nacionales pueden ser de los tipos siguientes:

#### 1). CARRETERAS DE INTEGRACIÓN NACIONAL

Éstas tienen por finalidad comunicar la capital federal con las capitales estatales, las capitales estatales entre sí y las cabeceras municipales con las capitales estatales. El conjunto de todas ellas forma la red troncal del país.

#### 2). CARRETERAS DE TIPO SOCIAL

Son las que se construyen para incorporar al desarrollo nacional aquellas regiones marginadas e incomunicadas, pero que la productividad económica de ellas es potencialmente importante para el desarrollo económico nacional.

#### 3). CARRETERAS PARA EL DESARROLLO

Éstas se construyen para impulsar el crecimiento de zonas con productividad potencial elevada, como pueden ser las agrícolas, las ganaderas, las industriales, las turísticas, etc.

#### 4). CARRETERAS PARA ZONAS DESARROLLADAS

Son las que se construyen con el propósito de disminuir los elevados costos de operación que registran las carreteras que comunican a dos o más zonas desarrolladas.

Éstas comunican más directamente a los núcleos desarrollados y el tránsito por ellas es más cómodo y seguro.

### b. CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA

La clasificación administrativa se distingue por la manera en que será financiada la realización de la carretera, teniéndose en la financiación participación gubernamental decisiva, pues las inversiones privadas hasta hace poco se han involucrado en los proyectos de carreteras para zonas desarrolladas. Así, desde el punto de vista de su financiación, las carreteras se dividen en las siguientes categorías:

#### 1). CARRETERAS VECINALES

Son aquellas cuyo monto de construcción es financiado por el gobierno federal, el gobierno estatal correspondiente y los particulares beneficiados, correspondiendo a cada parte la aportación de un tercio del costo total. La construcción y conservación de estas carreteras es responsabilidad de las Juntas Locales de Caminos.

#### 2). CARRETERAS ESTATALES

Son llamadas así las carreteras cuyo monto de construcción es financiado, en partes iguales, por el gobierno federal y el gobierno estatal correspondiente. También en éstas, la construcción y conservación depende de las Juntas Locales de Caminos.

#### 3). CARRETERAS FEDERALES

En estas carreteras el monto de construcción es financiado por el gobierno federal y es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la encargada de la construcción y conservación.

#### 4). CARRETERAS DE CUOTA

Las carreteras clasificadas así exigen alto financiamiento en comparación a los tipos anteriores. Por esto, la federación ha establecido un sistema financiero que permite la participación total o parcial del sector privado nacional e internacional. El sistema prevé la recuperación del monto invertido mediante el cobro de cuotas a los usuarios, mismas que se asignan en función del tamaño de los vehículos y de la eficiencia de cada carretera. La construcción y conservación de las carreteras de cuota es responsabilidad de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.

### c. CLASIFICACIÓN TÉCNICA-OFICIAL

La clasificación técnica-oficial toma en cuenta la capacidad de tránsito de la carretera, capacidad que se determina en función al tránsito promedio diario anual (TPDA) que se estime vaya a registrarse durante su vida útil. Esta clasificación tiene aplicación durante el proyecto de la carretera, al ser definidas las características geométricas, y corresponde a los siguientes tipos:

#### 1). CARRETERAS TIPO "A"

Éstas se dividen en dos tipos:

##### a). CARRETERAS TIPO "A4"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA de 5,000 a 20,000 vehículos.

##### b). CARRETERAS TIPO "A2"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA de 3,000 a 5,000 vehículos.

2). CARRETERAS TIPO "B"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA de 1,500 a 3,000 vehículos.

3). CARRETERAS TIPO "C"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA de 500 a 1,500 vehículos.

4). CARRETERAS TIPO "D"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA de 100 a 500 vehículos.

5). CARRETERAS TIPO "E"

Son las proyectadas y construidas para un TPDA inferior a 100 vehículos.

#### d. CLASIFICACIÓN POR TRANSITABILIDAD

Esta clasificación pretende agrupar las carreteras desde el punto de vista estructural, pues en ella se hace referencia a las distintas condiciones que presentan en cuanto al número y tipo de capas que las componen. También tiene que ver con la condición que la superficie de rodamiento de la carretera presenta para que haya o no comodidad en la circulación de los vehículos.

Esta clasificación, que en cierto modo tiene que ver con el orden constructivo de la carretera completa, consiste en lo siguiente:

1). CARRETERAS DE TERRACERÍAS

Son las que presentan una sección estructural que alcanza únicamente el nivel de la subrasante y, por lo general, el tránsito en ellas sólo es posible en temporadas secas del año.

2). CARRETERAS REVESTIDAS

En éstas, la sección estructural se construye colocando sobre la subrasante (o sobre el terreno de cimentación, si éste lo permite) las capas subbase y base, pudiendo ser sólo la subbase, dependiendo de si se deja para el futuro la colocación de la base. Debido a la relativa calidad de la superficie de rodamiento aportada por cualquiera de las dos capas anteriores, el tránsito en esta clase de carreteras es posible en cualquier época del año.

3). CARRETERAS PAVIMENTADAS

Las carreteras pavimentadas poseen una sección estructural que incluye a la carpeta asfáltica como capa más superficial; por esto, la superficie de rodamiento que presentan es más estable y la circulación de vehículos es más cómoda y rápida en comparación con las carreteras revestidas.

### C. LA CARRETERA COMO ESTRUCTURA

Las carreteras modernas se construyen principalmente para soportar diversas cargas dinámicas producidas por los vehículos automotores que circulan en ellas. Esto implica que deben ser capaces de transmitir las cargas vehiculares al terreno de cimentación sin que haya deformaciones permanentes que puedan provocar algún estado de falla estructural.

Pero el comportamiento adecuado de la carretera, ante la imposición de cargas dinámicas, no ha sido cuestión fácil de resolver, sobre todo, por no existir una teoría que describa exactamente lo que sucede dentro de una masa de suelo cuando a ésta se le aplica cargas dinámicas superficiales. No obstante lo anterior, la tecnología actual es capaz de construir carreteras funcionales sobre el fundamento de la teoría de la elasticidad.

En general, la teoría de la elasticidad, aplicada al comportamiento de los suelos, considera que una masa de suelo con carga estática superficial reacciona de acuerdo al estado lineal de esfuerzo-deformación establecido por la Ley de Hooke. Esto, desde luego, no es absolutamente cierto, ya que ningún tipo de suelo posee propiedades elásticas ideales, ni es homogéneo e isótropo como la citada teoría los considera.

A pesar de las incertidumbres anteriores, a las que hay que agregar la dificultad de incorporar a los análisis teóricos el efecto dinámico de las cargas vehiculares, en la actualidad es posible estructurar carreteras sobre el principio lineal de distribución de esfuerzos en el interior de una masa de suelo con carga estática superficial.

#### 1. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN EL INTERIOR DE LA CARRETERA

El problema fundamental para la buena estructuración de las carreteras ha consistido en determinar los esfuerzos producidos en su interior, como reacciones de las cargas dinámicas vehiculares.

Una de las complejidades en la determinación de estos esfuerzos es cómo manejar convenientemente las cargas dinámicas que los producen, complejidad que continúa sin ser aclarada y actualmente se sigue optando por simplificar el problema tomando en cuenta cargas estáticas y no cargas dinámicas como la realidad lo exige.

Actualmente se cuenta con resultados importantes sobre la manera en que se distribuyen los esfuerzos dentro de una masa de suelo con carga estática en su superficie, lo cual se aproxima a las condiciones de trabajo de las carreteras.

A Boussinesq se debe la determinación de los esfuerzos actuantes en el interior de una masa de suelo homogéneo, isótropo y semi-infinito, producidos por la aplicación de una carga concentrada superficial. Estos esfuerzos quedan definidos por las siguientes expresiones, que permiten la representación gráfica.

$$(1) \dots \sigma_z = \left[ \frac{3q}{2\pi z^2} \right] \left[ \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2}$$

$$(2) \dots \sigma_x = \left[ \frac{q}{2\pi} \right] \left[ \frac{3rz^2}{(r+z)^{5/2}} - \frac{1-2\nu}{r^2+z^2+z(r^2+z^2)^{1/2}} \right]$$

$$(3) \dots \sigma_y = - \left[ \frac{q(1-2\nu)}{2\pi} \right] \left[ \frac{2}{(r^2+z^2)^{3/2}} - \frac{1}{r^2+z^2+z(r^2+z^2)^{1/2}} \right]$$

En donde, para la expresión (1):

$\sigma_z$  es el esfuerzo normal en la dirección del eje Z.

$z$  es la profundidad a la que actúa  $\sigma_z$ .

$q$  es la carga concentrada superficial.

$r$  es la distancia horizontal que separa a  $q$  de  $\sigma_z$ .

$\pi$  es la constante universal 3.1415...

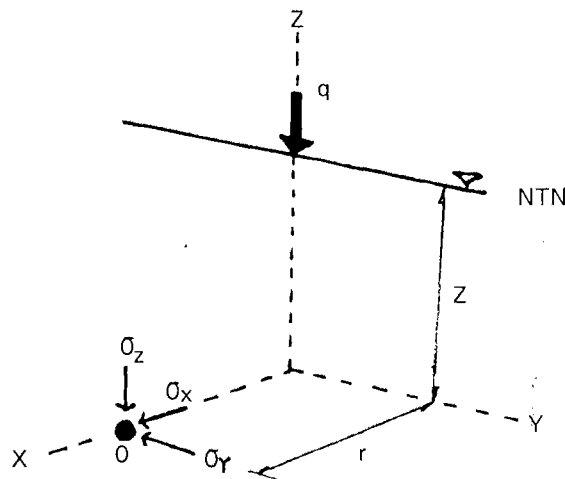


FIGURA 1.2  
ESFUERZOS EN UNA MASA DE SUELO CON CARGA CONCENTRADA SUPERFICIAL

De la expresión (1) se puede deducir que el esfuerzo normal actuante sobre una partícula O cualquiera, ubicada ésta a cierta profundidad de la superficie del suelo, es proporcional tanto a la carga concentrada superficial como a la profundidad a la que dicho esfuerzo se desarrolla. Además, aplicando esta misma expresión, es posible obtener gráficamente la distribución de los esfuerzos  $\sigma_z$  por debajo del punto de aplicación de la carga  $q$ , tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Esta distribución, que representa la variación de la intensidad de los esfuerzos  $\sigma_z$  para múltiples combinaciones de valores de  $z$  y  $r$ , es la siguiente:

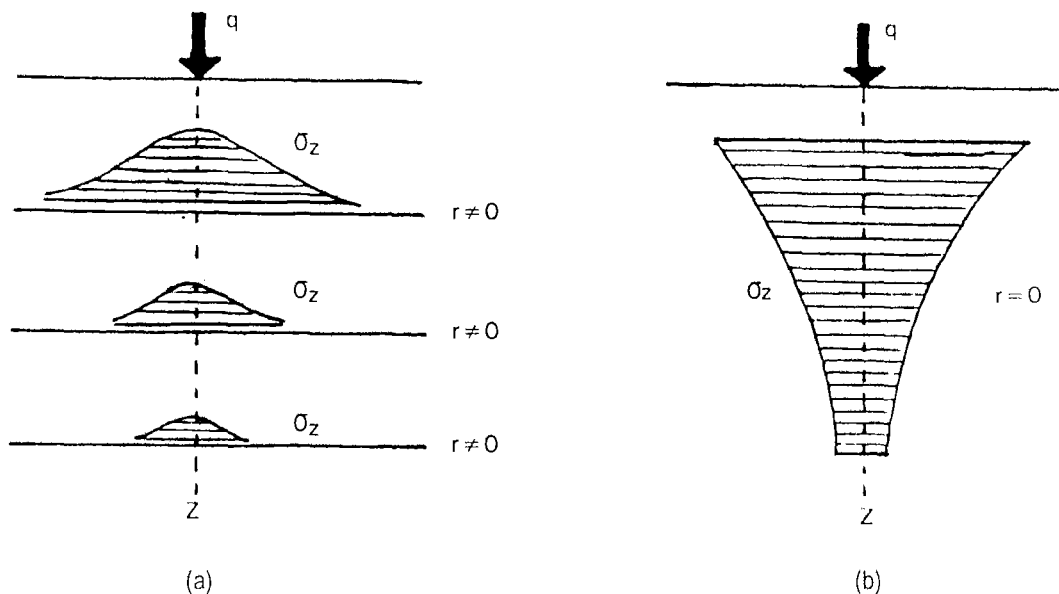


FIGURA 1.3  
DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN UNA MASA DE SUELO CON CARGA SUPERFICIAL

En la figura 1.3 (b) se observa la variación de la intensidad de los esfuerzos  $\sigma_z$  cuando la partícula O se ubica abajo y en dirección de la aplicación de la carga  $q$ , o sea, para  $r = 0$ . Se distingue cómo el esfuerzo  $\sigma_z$  decrece con la profundidad. Por otra parte, en la figura 1.3 (a), la distribución de esfuerzos  $\sigma_z$  experimenta variación, teniéndose que, cuando la separación  $r$  de  $\sigma_z$  aumenta, alejándose de la línea de aplicación de  $q$ , y para valores mayores de  $z$ , la intensidad de los esfuerzos disminuye. Véase también la figura 1.2.

Es importante señalar que los esfuerzos producidos dentro de una masa de suelo, cuando es sometida a una carga estática superficial, no dependen de las características intrínsecas del suelo, como se puede deducir de las expresiones (1), (2) y (3).

Posterior a los resultados de Boussinesq se efectuaron estudios similares en los que se consideró al suelo compuesto por diversos estratos o capas. Burminster estudió el caso de la doble y triple capa, analizando el comportamiento del conjunto cuando las capas presentaban variación en cuanto al espesor y rigidez. De esta manera buscó determinar la variación aproximada de los esfuerzos cuando cada capa poseía menor espesor y rigidez que la inmediatamente superior a ella. La asignación de menor rigidez a mayor profundidad de las capas obedeció al resultado obtenido por Boussinesq en el sentido de que los esfuerzos disminuyen cuanto a mayor profundidad se sitúan de la superficie del suelo cargada.

El caso de las tres capas es aquel en donde se consideró a los dos estratos más superficiales con espesores limitados y distintos, en tanto que al tercero y más profundo se le asignó un espesor infinito; además, los tres presentaban diferentes módulos de elasticidad decrecientes con la profundidad. La figura 1.4 muestra lo anterior e indica la transmisión de la carga mediante una placa circular de cierto diámetro.

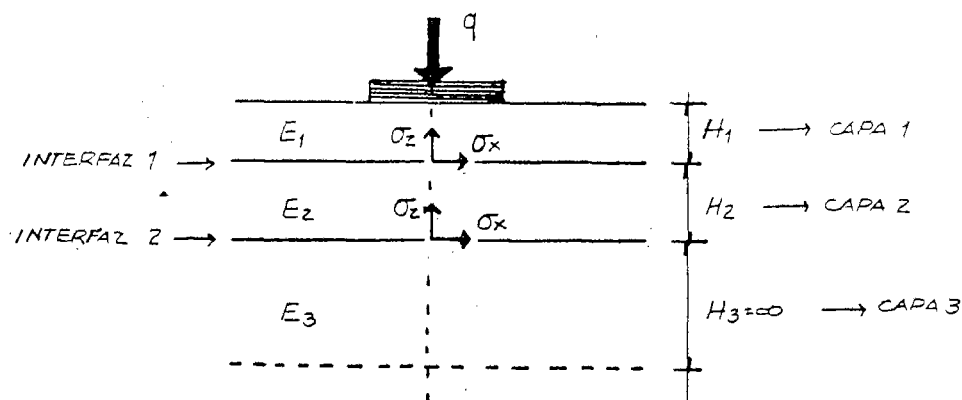


FIGURA 1.4  
ESFUERZOS NORMALES EN UNA MASA DE SUELO FORMADO POR TRES CAPAS O ESTRATOS

Los resultados de los estudios de distribución de esfuerzos, en el sistema de tres capas, dieron origen a conclusiones útiles referente a la variación de los esfuerzos en función del espesor y la rigidez de las capas que forman la masa de suelo con carga estática superficial. Estos resultados fueron resumidos en gráficas y en la actualidad son el fundamento de la estructuración de carreteras por las siguientes conclusiones:

a). Si el espesor de la capa 2 aumenta, también disminuyen los esfuerzos normales verticales en ella y en la capa 3 de espesor infinito (figura 1.5).

b). Si la rigidez de la capa 1 aumenta, sin que la rigidez de las capas inferiores a ella sufran variación, se provocará un aumento en la intensidad de los esfuerzos cortantes horizontales, sobre todo, en la capa más superficial; además, el esfuerzo máximo tendrá lugar al centro de su espesor  $H_1$  y por debajo de la orilla de la placa cargada (figura 1.6).

c). Al aumentar la relación  $E_1/E_2$ , los esfuerzos cortantes horizontales en cada interfaz disminuyen proporcionalmente (figuras 1.4 y 1.6).

d). El esfuerzo cortante horizontal disminuye considerablemente al aumentar el espesor  $H_1$  de la capa más superficial y el valor máximo de este esfuerzo se localizará aproximadamente en el tercio superior de dicho espesor (figura 1.7).

e). Los esfuerzos de tensión en la interfaz 1 aumentarán con rapidez al aumentar la relación  $E_1/E_2$ , sobre todo, si el espesor de la capa 1 es menor que el de la capa 2 (figura 1.8).

f). Puesto que los vehículos transmiten cargas variables y la presión de inflado de sus llantas también es variable, se incorporaron estos parámetros al estudio de esfuerzos, del que se concluyó que un aumento en la carga superficial exige que la capa 1 sea de mayor calidad, sin aumentar su espesor; por el contrario, si la presión de las llantas aumenta, será necesario un mayor espesor y una mejor calidad (figura 1.9).

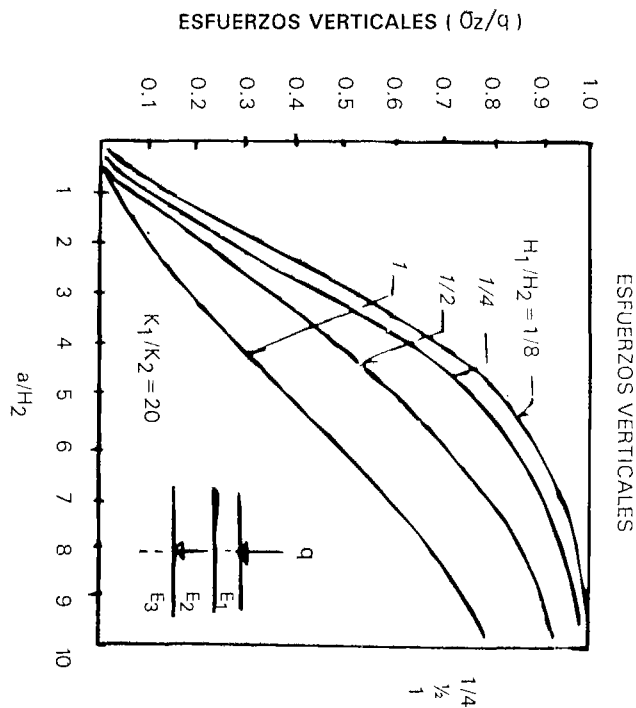


FIGURA 1.5  
RELACIÓN DE ESFUERZOS VERTICALES EN LA CAPA 2, EN FUNCIÓN DE  $a/H_2$



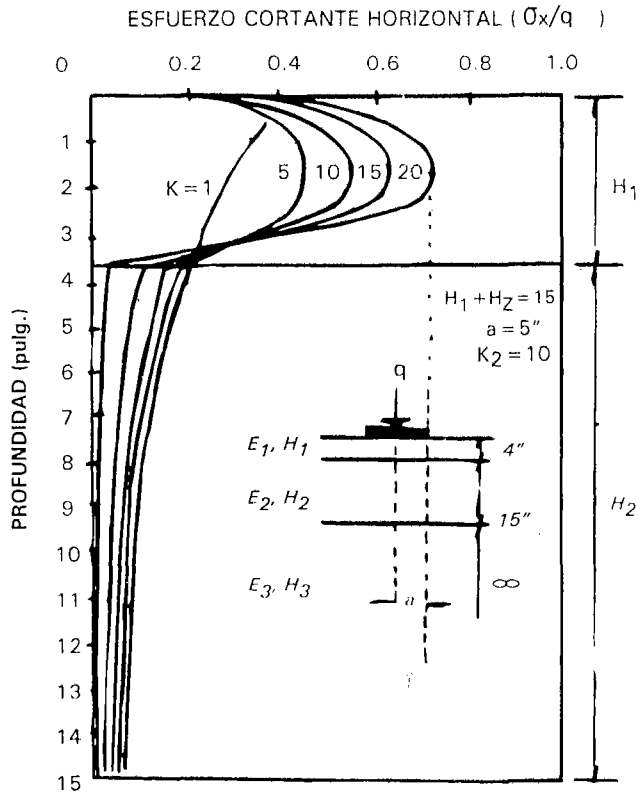


FIGURA 1.6  
DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN UNA MASA DE SUELO FORMADA POR TRES CAPAS

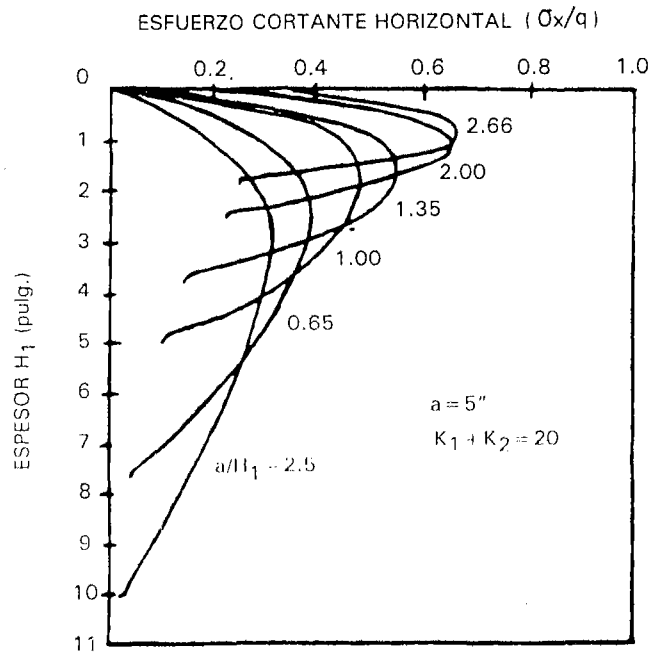


FIGURA 1.7  
INFLUENCIA DEL ESPESOR  $H_1$  SOBRE LA UBICACIÓN Y MAGNITUD DE  $\sigma_x/q$

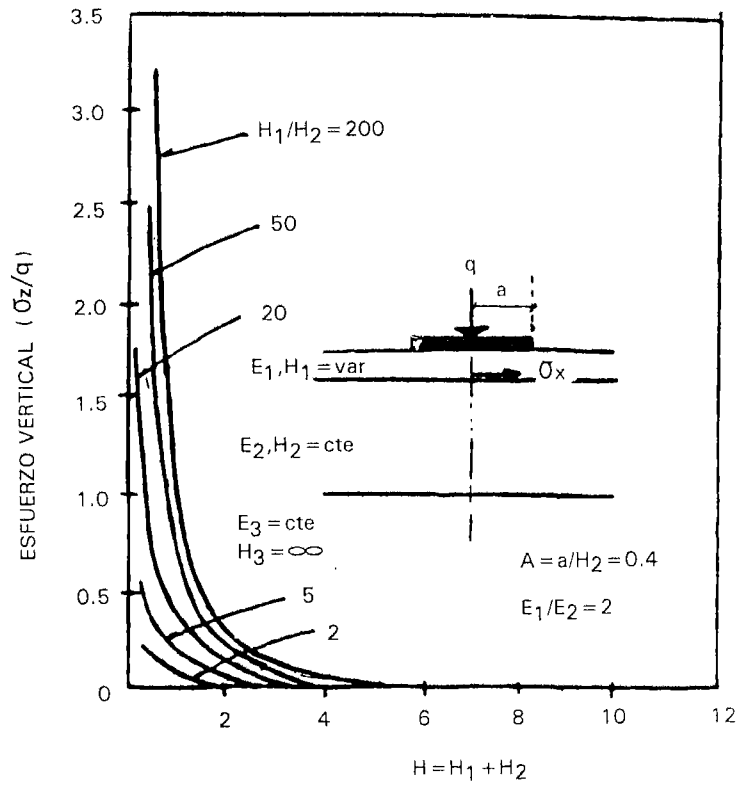


FIGURA 1.8  
 VARIACIÓN DEL ESFUERZO DE TENSIÓN EN LA INTERFAZ 1, AL AUMENTAR  $E_1/E_2$  Y DISMINUIR  $H_1$  RESPECTO DE  $H_2$

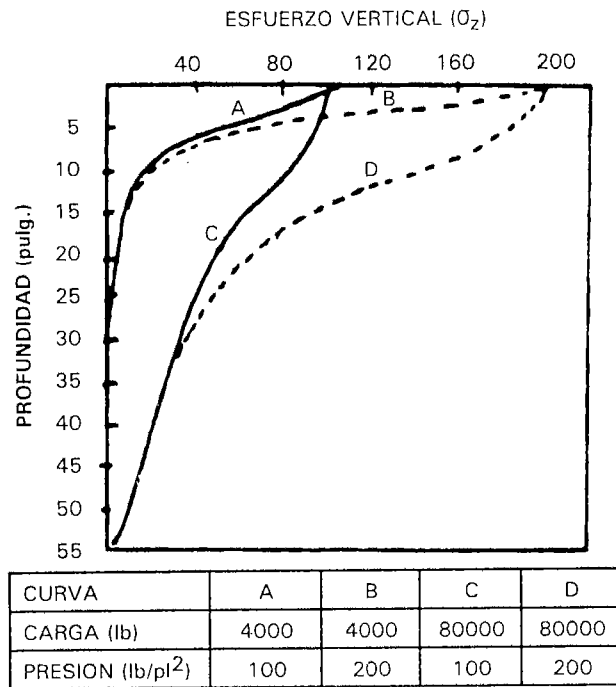


FIGURA 1.9  
 VARIACIÓN DEL ESFUERZO VERTICAL AL AUMENTAR LA CARGA VEHICULAR Y LA PRESIÓN DE LAS LLANTAS

## 2. DEFORMACIONES Y FALLAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA

Asociadas a los estados de esfuerzos se encuentran las deformaciones o desplazamientos verticales que se presentan en la zona superficial de la masa de suelo cargada. En este sentido los estudios teóricos, fundamentados también en la teoría de la elasticidad, condujeron a la obtención de la siguiente ecuación de deformación.

$$\Delta = \frac{qBl(1 - \nu)^2}{E}$$

En donde:

$\Delta$  es la deformación superficial del suelo.

$q$  es la carga aplicada a la placa circular.

$B$  es el diámetro de la placa.

$l$  es un factor de influencia que depende del área de la placa cargada.

$\nu$  es la relación de Poisson.

$E$  es el módulo de elasticidad del suelo cargado.

La ecuación anterior indica que la deformación del suelo superficial es función directa de la carga  $q$  y del área de la placa con la que se transmite dicha carga. También indica que la deformación disminuye si la rigidez del suelo cargado, definida por el módulo de elasticidad  $E$ , adquiere valores mayores. De acuerdo a la figura siguiente, la deformación se extenderá más allá del perímetro de la placa cargada.

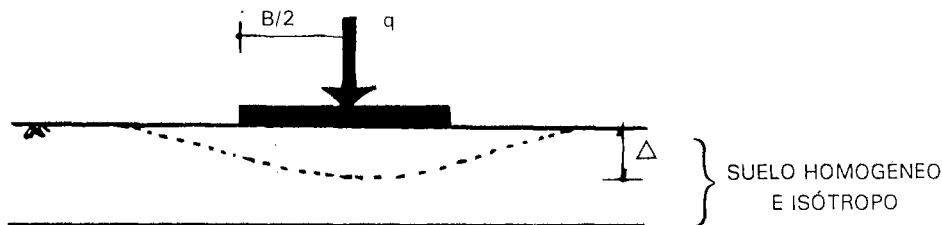


FIGURA 1.10  
DEFORMACION VERTICAL DE UN SUELO CON CARGA SUPERFICIAL

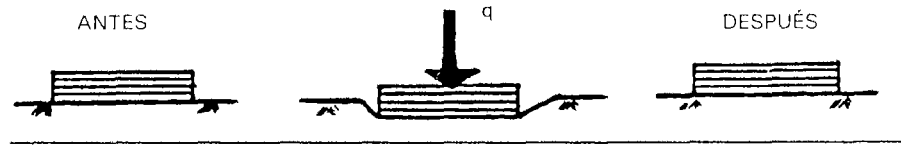
Las deformaciones que una carretera recibe por el peso de los vehículos y que corresponden al anterior principio, serán de dos tipos, como veremos en seguida:

Por la naturaleza y tipos de materiales utilizados en la construcción de carreteras, en los que la calidad será menor cuanto más se les profundiza de la superficie de rodamiento, se puede decir que la deformación aumenta potencialmente con la profundidad debido a que los materiales más corrientes son susceptibles de mayor deformación. Por esto, las deformaciones son de suma importancia y porque pueden provocar estados de falla por los que la carretera dejará de cumplir su función, sin importar si se produce el colapso.

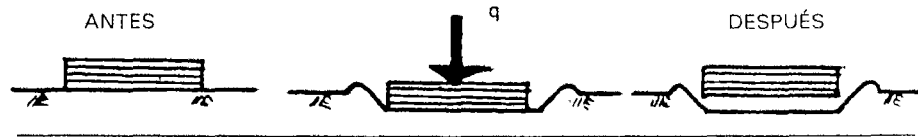
Dependiendo de lo excesivas que sean las cargas de los vehículos y los correspondientes esfuerzos producidos, las deformaciones de la carretera pueden ser de naturaleza elástica o plástica.

La deformación elástica tiene origen cuando el peso de los vehículos comprime el aire dentro de los espacios inter granulares del suelo, lo cual ocasiona que parte de la carretera se deforme durante la permanencia de la carga y recupere su condición original una vez desaparecida ésta. Este tipo de deformación puede provocar fatiga a los materiales de la carretera si la aplicación de la carga es prolongada. Ver la figura 1.11 (a).

La deformación plástica se presenta cuando la presión del aire y del agua, producida entre los espacios inter granulares del suelo, se combinan con los esfuerzos para desplazar lateralmente al material ubicado dentro del área de influencia de la carga vehicular. Esta deformación es irreversible y acumulativa ante un número ilimitado de repeticiones de carga y es también la causa principal de los hundimientos superficiales de las carreteras. Estos hundimientos pueden afectar mayor área superficial cuanto más profundamente sean desarrollados los esfuerzos dentro de la estructura de la carretera. Ver la figura 1.11 (b).



(a). DEFORMACIÓN ELÁSTICA



(b). DEFORMACIÓN PLÁSTICA

FIGURA 1.11  
DEFORMACIONES ASOCIADAS A LOS ESTADOS DE ESFUERZOS

Las fallas provocadas por los mecanismos anteriores (principalmente el plástico) serán de tres clases, de acuerdo a la profundidad afectada que presente la carretera, a saber: La falla de superficie, que afectará solo a la carpeta asfáltica; la falla de base, que afectará hasta la subbase y la base, y la falla de asiento, que afectará a toda las capas estructurales de la carretera. Véase la figura siguiente:

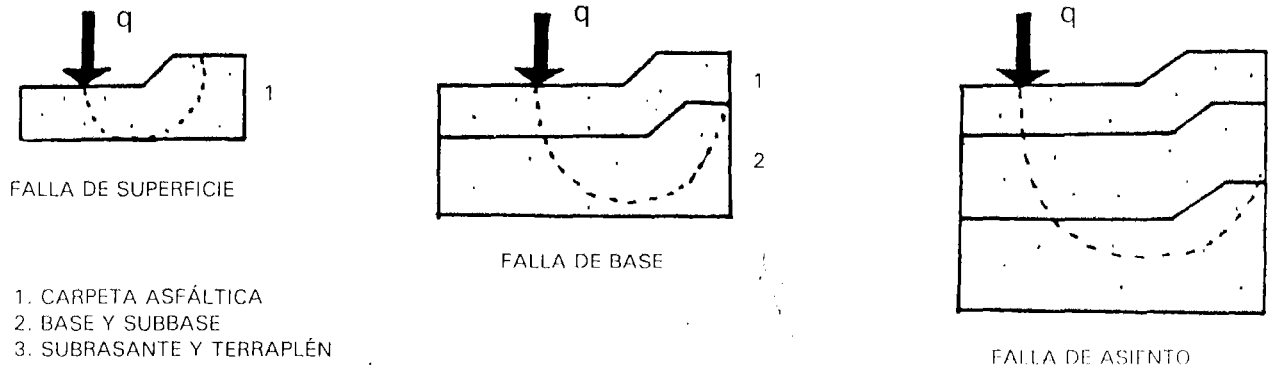


FIGURA 1.12  
FALLAS POR DEFORMACIÓN EN UNA CARRETERA

### 3. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA

Por los estudios de distribución de esfuerzos y sus efectos, se puede afirmar que la principal causa de falla de las carreteras se debe a la acción de los esfuerzos cortantes. La resistencia a estos esfuerzos será, pues, la propiedad fundamental que se debe tomar en cuenta al seleccionar los materiales para la carretera. Y es que éstos se consideran de mayor calidad cuanto más resistentes son a los esfuerzos cortantes producidos por el peso de los vehículos. Pero la carretera no podrá ser estructurada totalmente con materiales de máxima calidad, pues éstos son demasiados costosos y además la distribución de esfuerzos dentro de una masa de suelo cargada permite que los materiales sean de menor calidad cuanto más profundamente sean colocados respecto de la superficie cargada.

Para satisfacer la calidad variable en los materiales para estructuración de carreteras, desde el principio éstas se han construido con capas de materiales diversos, en donde la calidad ha de ser mayor para cada capa cuanto más sea próxima su colocación respecto de la superficie de rodamiento. Estas capas, como la superposición de ellas, ya han sido mencionadas, pero ahora, al tratarlas como componentes estructurales, se ahondará más en cuanto a la función individual que cada una aporta a la estructura de la carretera.

a). La capa más superficial es la carpeta asfáltica y el material con el que se construye es una mezcla de suelo granular seleccionado (agregado pétreo) y algún asfalto. Esta capa forma la superficie de rodamiento para los vehículos y, por lo tanto, será estable y capaz de resistir la aplicación directa de las cargas dinámicas vehiculares, la fricción de los neumáticos, los esfuerzos de frenado, las fuerzas centrífugas, los impactos, etc. Además, deberá resistir los agentes de intemperie, principalmente el agua, pues si ésta se infiltra hacia las capas inferiores puede llegar a alterar el equilibrio de la estructura total. La superficie de la carpeta asfáltica será de la textura que permita un frenado apropiado y un desplazamiento seguro y cómodo de los vehículos. A esta capa también se le llama pavimento.

b). Abajo de la carpeta asfáltica es colocada la base, que siempre será construida con suelos granulares de muy buena calidad, pues sólo así podrá soportar las cargas vehiculares. La base funciona como elemento resistente a las cargas de los vehículos y por esto tiene que ser facultada para transmitir los esfuerzos relativamente disminuidos hacia zonas más profundas de la carretera. En la medida en que esta capa sea de mayor calidad, el espesor de la carpeta asfáltica será menor, lo que significa que la base puede contribuir al menor costo de la carretera. También debe cumplir excelentes condiciones de drenaje para la eliminación fácil del agua que pudiera llegar a ella por infiltración superficial, por flujo subterráneo lateral o por ascensión capilar. Es seguro que al ser construida la base con materiales de buena calidad, siempre cumplirá con la permeabilidad para un drenaje aceptable.

c). Anterior a la base se coloca la subbase, que también será construida con materiales de buena calidad, aunque por la profundidad a la que se ubica admite materiales de calidad ligeramente menor. Es necesario que esta capa posea resistencia friccionante para soportar y transmitir los esfuerzos que llegan a ella y también que sea capaz de eliminar el agua perjudicial. Por lo general, el espesor de la subbase es mayor que el de la base, teniendo esto una finalidad económica más que estructural, pues, al usar en ella materiales de calidad ligeramente menor, se obtiene una reducción en el espesor de la base, que requiere materiales más caros. Así, en vez de cumplir la base un determinado espesor, se reduce éste, pero se compensa en la subbase a cambio de un menor costo, sin que se ponga en riesgo la capacidad estructural de la carretera. Además, como la subbase ha de ser construida con materiales de calidad un poco menor respecto de la base, necesitará de un espesor mayor para resistir los esfuerzos cortantes. Pero la subbase constituye a la vez una capa de transición, pues evita que el material grueso de la base se incruste en el material delgado de la subrasante.

d). En nuestro país se ha agregado la subrasante como capa integrante de la carretera. Se llama así porque corresponde al trazo de la línea subrasante proyectada. Su construcción, por debajo de la subbase, acepta materiales de baja calidad pero que permiten contribuir a la estabilidad estructural del conjunto cuando son bien compactados. La construcción de la subrasante será justificable siempre que su espesor no sea excesivo, pues de lo contrario se encarecerá la obra. Es necesario, por lo tanto, que su espesor y calidad sean moderados para que pueda ser justificado el menor costo de las capas superiores a ella. Económicamente, la calidad relativa de sus materiales es tan importante como su espesor, pero en ella se prefiere utilizar materiales de baja calidad con espesores mayores, de manera que la aportación estructural de esta capa depende más de su espesor que de la calidad de sus materiales. Actualmente algunos especialistas cuestionan la función estructural de la subrasante, argumentando que los esfuerzos que llegan a ella son de intensidad tan baja que casi cualquier material corriente es capaz de absorberlos y que, por lo tanto, esta capa no es necesaria en la mayoría de los casos en los que el terreno de cimentación sea de calidad mínima.

e). Por último haremos referencia al terraplén, pero no como una capa estrictamente estructural, ya que su función, aun cuando puede llegar a recibir esfuerzos disminuidos, es principalmente la de alcanzar los niveles y pendientes que la línea subrasante indica en el proyecto. Los materiales para el terraplén son similares a los de la subrasante, pudiendo contener también fragmentos de roca, y no deben ser subestimados en cuanto a su baja pero necesaria calidad, pues deben ser susceptibles a la buena compactación para garantizar el funcionamiento de la carretera. Por otra parte, como ya se dijo, si el proyecto contempla cortes de material a lo largo de la ruta proyectada, el terraplén evidentemente será innecesario.

Aunque la cimentación (o sea el terreno donde es colocado el conjunto de capas anteriores) no forma parte de la carretera, es indispensable su consideración porque recibirá esfuerzos de baja magnitud. Es necesario, por lo tanto, conocer previamente su calidad para definir si es capaz de suplir la función de alguna de las capas estructurales. De su capacidad de soporte depende en cierta medida el espesor de las capas superiores a él y la posible eliminación de alguna de ellas. Así, por ejemplo, si el terreno de cimentación es pésimo (si contiene materia orgánica) deberá ser sustituido por otro de mejor calidad; si es malo (si posee plasticidad y permeabilidad elevadas) deberá ser construido el terraplén (siempre que sea necesario) y la subrasante antes de encimar las capas superiores; si es regular o bueno (formado por suelos granulares de baja saturación y resistencia aceptables) muy probablemente bastará colocar encima de él la subbase y la base antes de ser construida la carpeta asfáltica; finalmente, si es excelente (si posee granulometría de difícil saturación y es de resistencia elevada) podrá eliminarse la subbase y en tal caso irá sólo la base y carpeta asfáltica debidamente encimadas. Pero la eliminación de una o más de las capas estructurales de la carretera no depende exclusivamente de lo excelente que pueda ser el terreno de cimentación, sino de otros factores contemplados en el proyecto, como puede ser la intensidad del tránsito, la carga de diseño, la categoría de la carretera, etc.

Por lo anterior se puede afirmar que los componentes estructurales de la carretera no son elementos insustituibles y que alguno de ellos puede no ser construido. Si esto no ocurre, la estructuración completa de la carretera podrá corresponder a cualquiera de las secciones transversales siguientes:

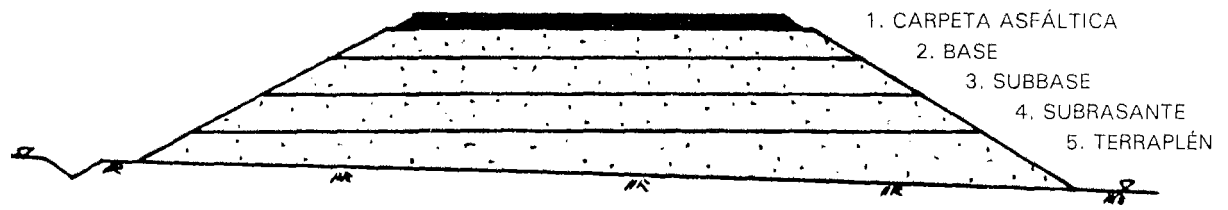


FIGURA 1.13  
CAPAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA CUANDO ES NECESARIO EL TERRAPLÉN

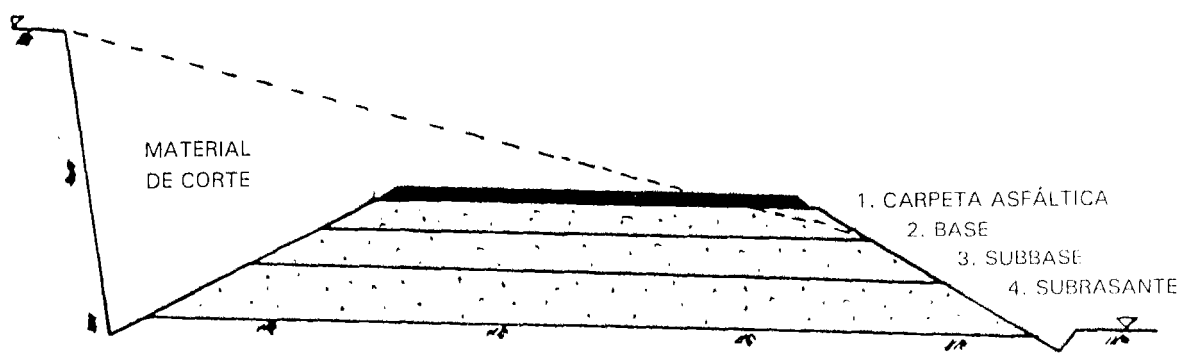


FIGURA 1.14  
CAPAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA CUANDO NO ES NECESARIO EL TERRAPLÉN

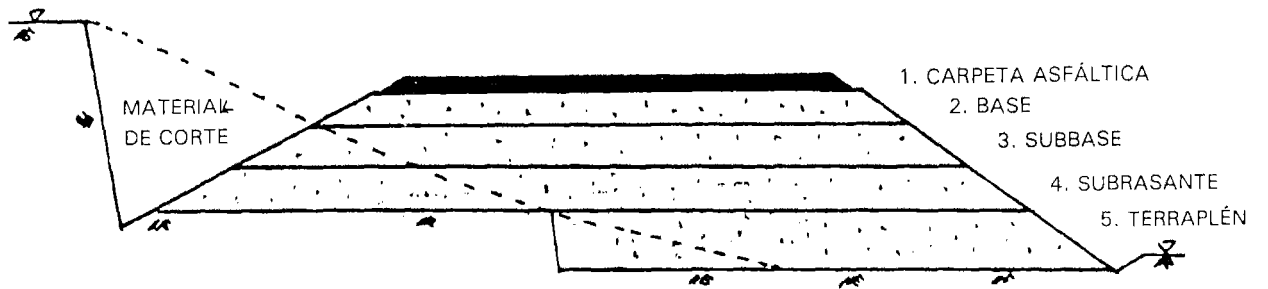


FIGURA 1.15  
CAPAS ESTRUCTURALES DE LA CARRETERA CUANDO ES PARCIALMENTE NECESARIO EL TERRAPLÉN

## II. MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS

### A. FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

1. ORIGEN
2. COMPOSICIÓN FÍSICA
3. CLASIFICACIÓN GENERAL

### B. ASFALTOS

1. ORIGEN
2. OBTENCIÓN
3. COMPOSICIÓN FÍSICA
4. CLASIFICACIÓN



## A. FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

De los materiales empleados para la construcción de carreteras, aquí se tratará los fragmentos de roca y los suelos, que, dependiendo de la topografía del terreno, podrán ser extraídos de los cortes a lo largo del eje del camino o de los bancos de préstamo localizados previamente. Así, si el terreno que sustentará a la carretera forma parte de una planicie, no existirán zonas de cortes para generar materiales de construcción, por lo que se recurrirá a los bancos naturales localizados en las cercanías de la ruta proyectada. Para este último caso, si los materiales son obtenidos desde una distancia de hasta 100 m, partiendo del eje longitudinal del camino, se hablará de préstamo lateral y cuando la obtención sea mayor a 100 m se hablará de préstamo de banco. Si el terreno afectado por el trazo de la carretera es lomerío, en lo más posible se utilizará el material producto de los cortes a lo largo de la ruta, aunque también podrá ser necesario recurrir a los préstamos laterales o de bancos. Por último, si el terreno es montañoso, los materiales de construcción serán abundantes debido a la gran cantidad de cortes realizados en las laderas.

Como vemos, los fragmentos de roca y los suelos serán extraídos de la corteza terrestre y los primeros no serán producto de la trituración de las rocas, sino que serán encontrados en estado natural, sea sobre la superficie terrestre o formando yacimientos. Es importante, por lo tanto, conocer el origen, composición física y clasificación de estos materiales.

### 1. ORIGEN

Los fragmentos de roca y los suelos utilizados para estructurar carreteras tienen el mismo origen que todas las rocas y todos los suelos existentes en la naturaleza; por lo tanto, en esta parte hablaremos más bien del origen de las rocas y los suelos en el sentido general.

Según la Geología, el centro de la tierra se encuentra en estado fluido, lo que ha sido demostrado por las erupciones volcánicas que arrojan magma de su interior. Por esto se afirma que la corteza terrestre se formó por endurecimiento del magma, al perder éste su alta temperatura.

Puesto que la tierra se formó hace 4 500 millones de años, el tiempo es demasiado para suponer siquiera que la corteza original se conserva sin cambio; sin embargo, se asegura que actualmente permanecen rocas en su interior que fueron formadas en épocas primitivas y que conservan su estructura original. A estas se les llama ígneas o primarias y son producto del enfriamiento del magma. Se llaman primarias porque constituyen la materia prima que, por diversos fenómenos físicos y químicos, dieron origen a los suelos y demás tipos de rocas. Estos fenómenos son muy variados, pero la mayoría forman dos grupos principales: Desintegración mecánica y descomposición química.

La desintegración mecánica se refiere al intemperismo de las rocas por la acción de agentes físicos, como los cambios de temperatura climáticos, el efecto del agua y las heladas, la erosión del aire y la degradación de los organismos y plantas.

La descomposición química es la acción de agentes que atacan a las rocas y transforman su estructura mineralógica. Esta descomposición es provocada principalmente por fenómenos de oxidación, hidratación y carbonización, en donde el agua y la variación de la temperatura ambiental son factores importantes.

Pero la manera en que los fenómenos anteriores han dado origen a los suelos y rocas no es cuestión sencilla de explicar, ni siquiera para los geólogos más destacados, sino que la naturaleza empleó procedimientos verdaderamente complejos, difíciles de describir con toda exactitud.

Las partículas producto de la desintegración de las rocas ígneas son transportadas por la gravedad, el viento, el agua o el hielo, y son depositadas en lugares distantes para formar grandes aglomeraciones denominadas sedimentos. Cuando el efecto de estos factores disminuye, las partículas mayores se depositan primero y las menores lo hacen después, dando por resultado la formación de depósitos con el más variado tamaño de partículas. A estos depósitos se les conoce generalmente como suelos. Por procesos similares, los suelos pueden formar a su vez sedimentos que, cuando alcanzan cierto grado de dureza, se les llama rocas sedimentarias. Inversamente, las rocas sedimentarias dan origen a nuevo suelo mediante el mismo proceso de desintegración.

Por otra parte, debido a que la corteza terrestre experimenta continuos movimientos de deformación por efecto de la temperatura elevada y otros fenómenos registrados en su interior, todas las rocas de la corteza pueden romperse y producir fallas verticales por donde el magma puede salir a la superficie o, en efecto, solidificarse para formar nuevas rocas ígneas. También algunas rocas ígneas y sedimentarias pueden ser llevadas por el continuo movimiento de la corteza hacia zonas más profundas, en donde es probable su fundición para la formación de magma original y así perder su identidad.

Tanto las rocas ígneas como las sedimentarias experimentan cambios a través del tiempo, debido a grandes presiones y temperaturas registradas en el interior de la corteza terrestre. A estos cambios se les llama metamorfosis y dan por resultado rocas metamórficas que, al igual que las ígneas y sedimentarias, cuando se encuentran expuestas a los efectos de intemperie, motivan la formación de suelos. Si las rocas metamórficas se sitúan en el interior de la corteza, donde la temperatura sea ideal para su fundición, se tornarán de nuevo en magma y, al igual que las otras, perderán de esta manera su identidad.

Como mencionamos, todas las rocas han dado origen a los suelos y hoy éstos abundan porque un ciclo de transformación de las rocas se ha repetido ininidad de ocasiones durante los millones de años de vida del planeta. Este ciclo de transformación corresponde al esquema siguiente:

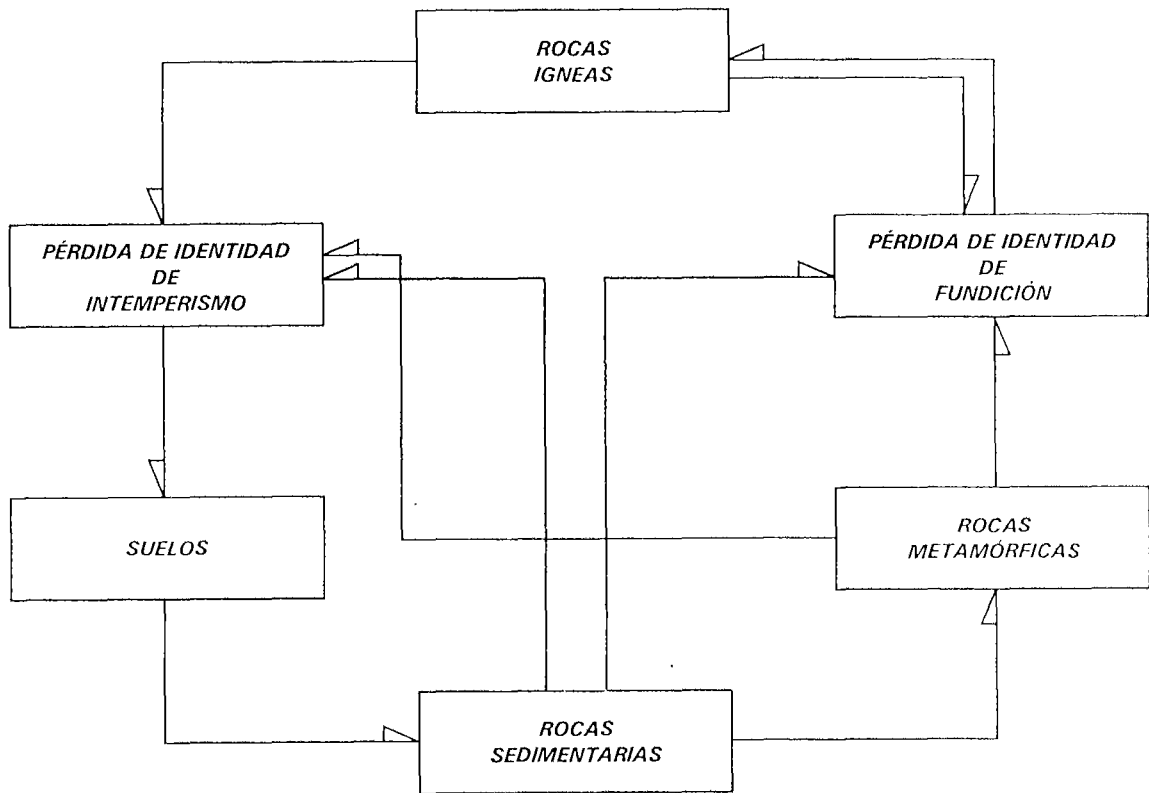


FIGURA 2.1  
CICLO DE TRANSFORMACIÓN DE LAS ROCAS

## 2. COMPOSICIÓN FÍSICA

La composición física de los fragmentos de roca y los suelos es esencialmente la misma, pues ambos están constituidos por minerales.

Los minerales son sustancias inorgánicas y naturales, que tienen composición química y estructura atómica definidas, y de ellos se conocen más de un millar. Todos tienden a formar cristales y poseen cierta combinación de propiedades físicas y ópticas que permiten distinguirlos individualmente. Estas propiedades son el color, la dureza, la fractura y tenacidad, el brillo, la ralladura, la forma de los cristales y el peso volumétrico relativo.

Pero los minerales también se diferencian por su composición química particular, que permite agruparlos según la tabla siguiente, en donde se indican los principales.

MINERALES	GRUPO QUÍMICO
Feldespato (ortoclasa y plagioclasa), hornablenda, coalinita, micas (biotita y moscovita), olivino, piroxeno, talco, serpentita, zoalita, clorita y magnesita.	Silicatos
Hematites, ilmenita, limonita, magnetita y cuarzo.	Óxidos
Calcita y dolomita.	Carbonatos
Anhidrita y yeso.	Sulfatos

TABLA 2.1  
PRINCIPALES MINERALES QUE FORMAN ROCAS Y SUELOS

Lógicamente los suelos contienen los minerales anteriores en combinaciones diversas, además de otros, en proporciones menores, que resultaría imposible enumerarlos.

En las partículas gruesas de los suelos predominan los silicatos, como la ortoclasa y la plagioclasa; los óxidos, como el cuarzo, la limonita, la magnetita y el coridón; los carbonatos, como la calcita y la dolomita, además de otros minerales no menos importantes. En las partículas finas predominan básicamente los silicatos, como el olivino, la clorita y la serpentina.

Los minerales son formados por láminas cristalinas cuyos átomos se disponen en unidades reticulares entrelazadas. A su vez, las láminas cristalinas, que pueden ser de distinta naturaleza química, se entrelazan para formar estructuras cristalinas por demás complejas en la mayoría de los casos. Por ejemplo, en un mineral formado químicamente por silicato de aluminio, las láminas de silicio pueden disponerse alternadamente con las de aluminio, o también la disposición puede ser de una lámina de silicio por cada dos de aluminio. En cualquier caso, las láminas silícicas constan de unidades reticulares compuestas por cuatro átomos de oxígeno y uno de silicio al centro, en tanto que en las láminas aluminicas cada unidad reticular está formada por seis átomos de oxígeno y uno de aluminio al centro. En ambas láminas las unidades reticulares se entrelazan indefinidamente a través de átomos de oxígeno comunes; pero también, en cualquier disposición entre láminas silícicas y aluminicas, éstas quedan unidas mediante átomos de oxígeno comunes. Lo siguiente es una representación de una unidad reticular silícica y una aluminica.

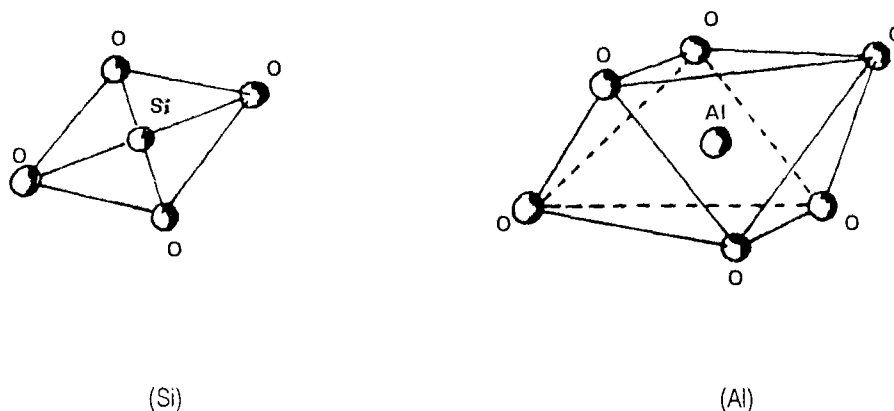


FIGURA 2.2  
UNIDADES RETICULARES SILÍCICA Y ALUMÍNICA

### 3. CLASIFICACIÓN GENERAL

#### a. LOS FRAGMENTOS DE ROCA

Para su aplicación a la estructuración de carreteras, los fragmentos de roca poseen tamaños mayores a 7.6 cm y menores a 2.00 m, y quedan clasificados en tres grandes grupos:

1. FRAGMENTOS GRANDES: De tamaños mayores a 75 cm y menores a 2.00 m.
2. FRAGMENTOS MEDIANOS: De tamaños mayores a 20 cm y menores a 75 cm.
3. FRAGMENTOS CHICOS: De tamaños mayores a 7.6 cm y menores a 20 cm.

Cada grupo anterior es para el caso en que se tenga tamaños de fragmentos dentro de un rango exclusivo. Para el caso en que se tenga una combinación de tamaños que involucre los tres grupos, los fragmentos de un grupo serán mayoría en comparación con los fragmentos de los dos restantes; además, en la combinación podrá existir un volumen de suelo no mayor al 10 % del volumen total de los fragmentos combinados. Así, para cada grupo dominante se tendrá una clasificación secundaria compuesta por cinco subgrupos, misma que se presenta en la tabla 2.2, en donde también se muestra el símbolo de cada grupo y subgrupo, así como algunas observaciones útiles.

Los fragmentos de roca clasificados en la tabla 2.2 son sólo para su aplicación exclusiva al terraplén y podrán también ser aplicados en combinación con algún tipo de suelo, representando éste una proporción menor, lo que hará necesario identificar tal combinación mediante símbolo doble, como lo ejemplifica la citada tabla.

	CLASIFICACIÓN PRIMARIA	CLASIFICACIÓN SECUNDARIA	SÍMBOLO	OBSERVACIONES
FRAGMENTOS DE ROCA : Tamaños mayores de 7.5 cm y menores de 2.00 m.	GRANDES Mayores de 75 cm y Menores de 2.00 m.	Fragmentos grandes, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo.	Fg	<p>1. Cuando los fragmentos de roca contengan más de 10 % de suelo, el material se clasificará con símbolo doble, utilizando los símbolos del suelo correspondiente y los del fragmento respectivo.</p> <p>Si el volumen de suelo es mayor de 50 %, el símbolo de éste se antepondrá al del fragmento. Si el volumen de suelo está comprendido entre 10 y 50 %, su símbolo se colocará en seguida del símbolo de los fragmentos de roca.</p> <p>Ejemplo 1: Un material contiene: 60 % de GC 20 % de Fg 15 % de Fm Su símbolo sería: GC-Fgm</p> <p>Ejemplo 2: Un material contiene: 60 % de Fm 30 % de SM 20 % de Fc 10 % de Fg Su símbolo sería: Fmfcg-SM</p> <p>2. Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que contenga un material serán aproximados.</p> <p>3. El tamaño de los fragmentos será su dimensión mayor.</p>
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10 % de fragmentos chicos o de suelo.	Fgm	
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10 % de fragmentos medianos o de suelo.	Fgc	
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10 % de suelo.	Fgmc	
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10 % suelo.	Fgcm	
	MEDIANOS Mayores de 20 cm y Menores de 75 cm.	Fragmentos medianos, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo.	Fm	
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10 % de fragmentos grandes o de suelo.	Fmc	
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes chicos, predominando los grandes, con menos del 10 % de fragmentos o de suelo. .	Fmg	
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los sobre los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10 % de suelo.	Fmcg	
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos , predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10 % suelo.	Fmgc	
	CHICOS Mayores de 7.6 cm y Menores de 20 cm.	Fragmentos chicos, con menos del 10 % de otros fragmentos o de suelo.	Fc	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10 % de fragmentos grandes o de suelo.	Fcm	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos de 10 % de fragmentos medianos o de suelo.	Fcg	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10 % de suelo.	Fcmg	
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10 % suelo.	Fcgm	

TABLA 2.2  
CLASIFICACIÓN DE FRAGMENTOS DE ROCA

## b. LOS SUELOS

Los suelos para la estructuración de carreteras se clasifican, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), de la manera siguiente:

Primero los suelos se dividen en tres grupos principales, dos de los cuales se subdividen según el tamaño de las partículas, mientras que el tercero se refiere a suelos de naturaleza orgánica y no tienen subdivisión; además, en todos ellos las partículas siempre serán menores a 7.6 cm.

Los dos grupos principales que se subdividen se les conoce como suelos gruesos y suelos finos, y la separación del tamaño de sus partículas queda definida por la malla 0.075; es decir, si más del 50 % del peso de una muestra de suelo queda retenido en esta malla, el total del material se clasificará como suelo grueso, mientras que si más del 50 % del peso de la muestra la atraviesa, el material será clasificado como suelo fino.

A su vez, los suelos gruesos se dividen en gravas y arenas y la separación se hace con la malla 4.75. En este caso, si más del 50 % del peso de una muestra de suelo grueso queda retenido en esta malla, el suelo será clasificado como grava, y, si más del 50 % del peso de la muestra la atraviesa, el suelo grueso será clasificado como arena. Por comodidad, a las gravas y arenas se les identifica por los símbolos G y S, respectivamente.

En la naturaleza se encuentran suelos gruesos prácticamente limpios o también contaminados con partículas finas (aquellas que pasan la malla 0.075) y sus partículas suelen ser de buena o mala graduación. En estos casos, el SUCS identifica a las gravas limpias y bien graduadas con el símbolo GW y a las arenas limpias y bien graduadas con el símbolo SW; si son limpias y mal graduadas, las gravas son identificadas con el símbolo GP y las arenas con el símbolo SP. Es preciso señalar que en estos suelos la condición de "limpieza" queda restringida al contenido de una cantidad de partículas finas no mayor al 5 % del peso de una muestra representativa que de ellos sea tomada.

La buena graduación del tamaño de las partículas es definida por el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ), que, para las gravas el primero será mayor a 4 y el segundo de 1 a 3 y para las arenas el primero será mayor a 6 y el segundo también será de 1 a 3.

Si los suelos gruesos se encuentran contaminados con más del 12 % de partículas finas y además son identificadas como MH, con índice plástico menor a 6, a las gravas y arenas les corresponde el símbolo GM y SM, respectivamente. Si en este mismo caso las partículas son identificadas como CL, con índice plástico mayor a 6, a las gravas les corresponde el símbolo GC y a las arenas el símbolo SC.

Si los suelos gruesos contienen de 5 a 12 % de partículas finas, se les identificará con símbolos dobles; por ejemplo, una grava mal graduada, contaminada con 7 % de partículas finas, se identificará como GP - GC. También, cuando estos suelos no puedan ser identificados con un símbolo específico adoptarán símbolos dobles; así, un suelo grueso bien graduado, con menos de 5 % de partículas finas y compuesto por la misma cantidad de grava y arena, será identificado como GW - SW.

En cuanto a los suelos finos, el SUCS los divide en limos inorgánicos de símbolo M, arcillas inorgánicas de símbolo C y limos y arcillas orgánicos de símbolo O. A estas tres categorías, cuando el respectivo límite líquido es menor que 50 %, se les identifica como ML, CL, y OL, respectivamente, y si en ellos el límite líquido es mayor que 50 %, entonces se les identificará como MH, CH y OH, respectivamente. Para este último caso en realidad se tendrá dos divisiones: Una si el límite líquido es mayor que 50 % pero menor que 100 % y en la que estos suelos finos serán identificados como MH<sub>1</sub>, CH<sub>1</sub> y OH<sub>1</sub>; la otra si el límite líquido es mayor que 100 % y en donde estos suelos serán identificados como MH<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub> y OH<sub>2</sub>. Ver la tabla 2.4.

Como se mencionó al principio, el SUCS considera un último grupo que es formado por los suelos extremadamente orgánicos y de elevada compresibilidad (límite líquido mayor a 100 %). A este grupo se le llama turbas, que incluye a los suelos pantanosos, y se identifica como Pt.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se presenta en la tabla 2.3 e incluye observaciones para clasificar los suelos a partir de la composición granulométrica, el límite líquido e índice plástico. También, en la tabla 2.4 se presenta la carta de plasticidad, útil para clasificar los suelos finos.

Por lo anterior se puede afirmar que, de todos los suelos clasificados según el SUCS, indiscutiblemente se descartan los tipos MH<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>, OH<sub>2</sub> y Pt como materiales para la estructuración de carreteras y los tipos restantes serán aplicados dependiendo de qué capa estructural vayan a formar y de cual sea la combinación permitida.

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)				SÍMBOLOS DEL GRUPO (#)	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO				
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla 0.075 (son aproximadamente las más pequeñas visibles a simple vista)	GRAVAS	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenido en la malla 4-75 (Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla 4-75)	GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finas	Determinense los porcentajes de grava y arena de la curva granulométrica Dependiendo del porcentaje de finas (fracción que pasa la malla 0.075) los suelos gruesos se clasifican como sigue: Menos de 5% GW, GP, SW, SP Más de 12% GM, GC, SM, SC 5% a 12% Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles				
			GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finas					
		ARENAS	Más de la mitad de la fracción gruesa pasa la malla 4-75 (Para clasificación visual puede usarse 1/2 cm como equivalente a la abertura de la malla 4-75)	ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	SW		Arenas bien graduadas, arenos con grava, con poco o nada de finas			
				ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	SP		Arenas mal graduadas, arenos con grava, con poco o nada de finas			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla 0.075 (Las partículas de 0.075 mm de diámetro (malla 0.075)	LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido menor de 50	PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 40	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Características al rompimiento)	DILATANCIA (Reacción al agitado)		TENACIDAD (Consistencia cerca del limite plástico)	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduada L-Baja compresibilidad S-Arena C-Arcilla R-Turbo P-Mal graduada H-Alta compresibilidad		
				Nula o ligera	Rápida o lenta		Nula		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
				Media o alta	Nula a muy lenta		Media		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
				Ligera a media	Lenta		Ligera		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
LIMOS Y ARCILLAS Limite líquido mayor de 50	Ligera a media	Lenta a nula	Ligero a medio	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos					
					Alta a muy alta	Nulo	Alto	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	
					Media a alta	Nula a muy lenta	Ligero a medio	OH	Arcillas orgánicas de medio a alta plasticidad, limos orgánicos de medio plasticidad	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Facilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa			P <sub>t</sub>	Turbe y otros suelos altamente orgánicos					

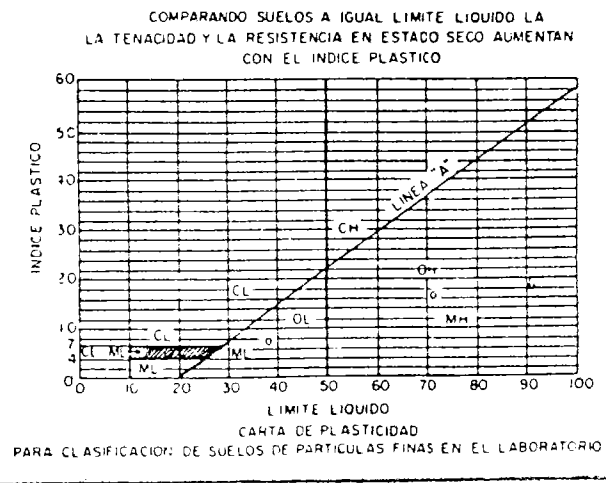


TABLA 2.3  
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

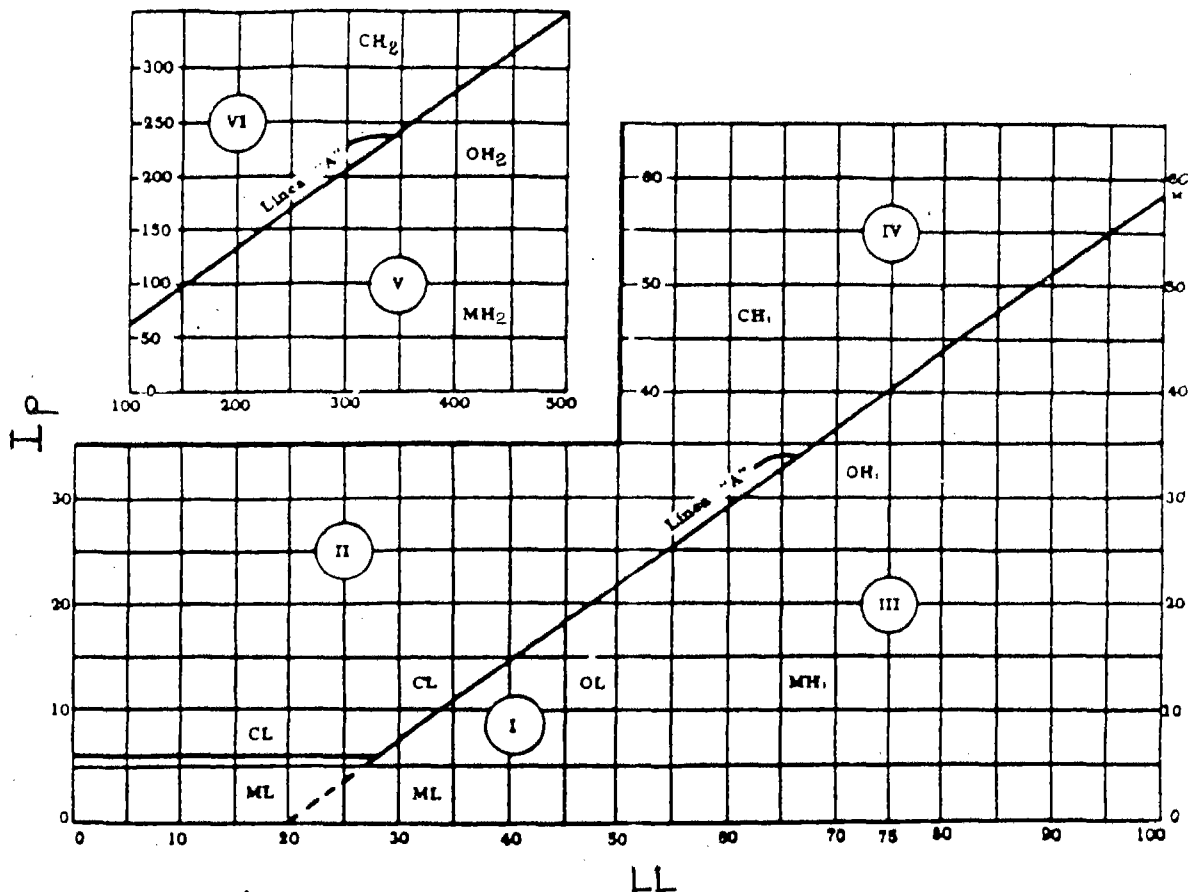


TABLA 2.4  
CARTA DE PLASTICIDAD

## B. ASFALTOS

Los asfaltos son la tercera clase de materiales para estructuración de carreteras. Actualmente todos provienen de la destilación del petróleo y son producidos no sólo para ser aplicados a las carreteras sino también para usos industriales.

Los asfaltos empleados en carreteras son todos productos comerciales, a diferencia de los fragmentos de roca y los suelos que provienen de la explotación de bancos localizados en las cercanías de la ruta proyectada.

Para ser destinados a las carreteras se producen varios tipos de asfaltos, de los que en México se emplean únicamente aquellos que son suficientes para obtener resultados satisfactorios y que se adaptan más a las necesidades del país.

Con el fin de conocer un poco a estos materiales, en seguida se trata lo referente a su origen, obtención, composición física y clasificación.

### 1. ORIGEN

Los asfaltos son componentes del petróleo crudo, por lo tanto, será mejor tratar el origen del petróleo.

El petróleo es una sustancia mineral, combustible y fluida, formada por una mezcla variable y compleja de hidrocarburos, en la que además participan cantidades menores de oxígeno, azufre y otros elementos menos importantes. Se le encuentra formando yacimientos a grandes profundidades dentro del subsuelo, de donde es extraído en estado de cierta fluidez y se le llama petróleo crudo.

Existen diversas teorías del origen del petróleo, que han sido confirmadas parcialmente en el laboratorio y en el campo, y se clasifican en dos grandes grupos: Teorías inorgánicas y teorías orgánicas.

En general, las teorías inorgánicas tratan de explicar que el petróleo se formó por reacciones geoquímicas entre el agua, el bióxido de carbono y varias sustancias inorgánicas, como carburos y carbonatos de metales comunes. Esta explicación resulta probable debido a las comprobaciones obtenidas en el laboratorio, pero presenta el inconveniente de que los materiales y las condiciones necesarias para que se produzcan las supuestas reacciones geoquímicas no son comunes en los lugares subterráneos de donde proviene el petróleo. Debido a esto, estas teorías no gozan de gran aceptación en la actualidad.

Las teorías orgánicas, que son las más aceptadas, en general suponen que el petróleo se originó por la descomposición de organismos vegetales y animales, que existieron en épocas remotas, y cuyos restos se acumularon en sedimentos que hoy se localizan en las profundidades del subsuelo oceánico y continental. El mecanismo que provocó la transformación de estos organismos a petróleo no es del todo claro, pero las afirmaciones en tal sentido se fundamentan en que la mayoría de los yacimientos de petróleo estudiados contienen de 1 a 2 % de sedimentos compuestos por algas, flora, peces y otros organismos de los océanos, además de que en algunos yacimientos el contenido de sedimentos marinos varía del 5 al 10 %. La transformación, según sugieren las teorías, pudo haberse efectuado por la intervención de bacterias anaerobias, las cuales provocaron la descomposición de los diversos sedimentos marinos para formar el petróleo que conocemos hoy. Esto se sustenta en el hecho de haberse comprobado que ciertas bacterias anaerobias son capaces de producir metano y otros hidrocarburos más pesados a partir de la descomposición de grasas, proteínas y otras formas de materia orgánica.

Lo anterior es, en resumen, la explicación que los científicos dan acerca del origen del petróleo y, en consecuencia, de los asfaltos.

## 2. OBTENCIÓN

Todas las sustancias que forman al petróleo crudo contienen mayormente carbono e hidrógeno, lo que hace al petróleo químicamente compuesto por una cantidad de carbono que varía del 83 al 87 % y otra de hidrógeno que varía del 12 al 14 %. Por esto, a las sustancias más generales que componen al petróleo se les llaman hidrocarburos.

Los asfaltos son hidrocarburos y su cantidad contenida en el petróleo es variable. Así, cuanto menor es la densidad del petróleo mayor es su contenido de asfalto.

Para separar los hidrocarburos componentes del petróleo, dentro de ellos los asfaltos, es necesario que el crudo sea sometido a determinados procesos físicos y químicos que en su conjunto se les conoce como destilación. La separación es posible porque cada componente se evapora a distinta temperatura y los más ligeros lo hacen primero para su posterior condensación.

En la destilación, el petróleo crudo se hace circular con gran presión y velocidad a través de una tubería ubicada dentro de un horno que alcanza elevadas temperaturas. Cuando el crudo en circulación alcanza la temperatura apropiada, es llevado hasta una torre de destilación, en donde, por la parte superior se evaporizan los hidrocarburos más ligeros, que son sometidos a un proceso de condensación para obtener nafta, gasolina, keroseno, aceites ligeros y otros productos. Concluida esta primera destilación, en la parte inferior de la torre queda depositado un residuo pesado que puede ser procesado de diferentes maneras.

Del residuo pesado, si posee características adecuadas y ha sido obtenido por la destilación apropiada que le permita alcanzar determinada consistencia, se obtendrán los asfaltos residuales de fraguado lento. Si a este mismo residuo se le da cierta consistencia y se le inyecta aire en una cámara especial provista de alta temperatura, dará origen a los asfaltos oxidados, que son de uso industrial. Por otra parte, si el residuo pesado reúne condiciones ideales podrá ser destinado a la producción de cementos asfálticos, que se obtienen sometiendo al residuo pesado a una nueva destilación o también mezclándolo con algún disolvente apropiado. Por nueva destilación, el residuo pesado es calentado de forma adecuada para su traslado hasta una unidad de procesamiento, en la que se provoca un vacío parcial, y cerca de su fondo se inyecta vapor para disminuir la presión y provocar el desprendimiento de los aceites pesados que hayan quedado de la primera destilación. Estos aceites son extraídos por evaporación y condensación y la destilación se controla de manera especial para la obtención de cementos asfálticos. Por mezclado, al residuo pesado se le agrega una pequeña cantidad de hidrocarburo de baja disolución (como el propano líquido) y así se provoca una separación de la que se obtiene por un lado los aceites pesados y por otro el cemento asfáltico de la consistencia deseada.

Los cementos asfálticos, por sus elevadas consistencias y para su aplicación a la carpeta asfáltica, serán calentados a temperaturas que van desde 120 °C hasta 160 °C. Cuando sean aplicados con poco o nulo calentamiento, será necesario mezclarlos con ciertos disolventes ligeros para así obtener los asfaltos rebajados. En otras ocasiones, a fin de lograr su aplicación en frío, podrán ser mezclados con agua y ciertas sustancias emulgentes para producir los asfaltos emulsionados.

La figura 2.3 resume el tratamiento del petróleo para la separación de sus distintos componentes más generales e incluye los distintos asfaltos para carreteras.



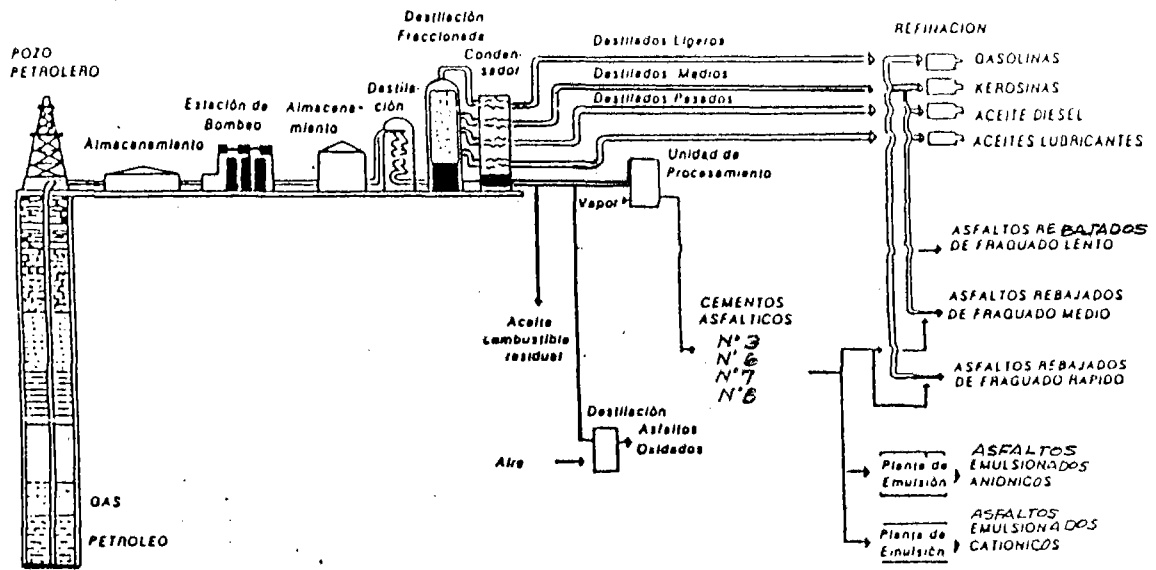


FIGURA 2.3  
OBTENCIÓN DE LOS COMPONENTES MÁS GENERALES DEL PETRÓLEO

### 3. COMPOSICIÓN FÍSICA

Los asfaltos son materiales oscuros y sus componentes son casi todos solubles en bisulfuro de carbono. El estado físico en ellos es variable y va desde semisólido hasta líquido.

Para comprender la estructura física más simple de los asfaltos es necesario considerar lo siguiente: Existen sustancias que pueden ser dispersas en otras, llamándose las primeras sustancias dispersantes y las segundas sustancias disolventes. La dispersión de una sustancia dispersante, en otra disolvente, puede darse de tal manera que las moléculas de la primera queden separadas y atrapadas entre las moléculas de la segunda. De esta manera se formará una nueva sustancia que recibe el nombre de disolución. Pero también una sustancia puede ser dispersada en otra a manera de grupos de moléculas y no de moléculas individuales; en tal caso, la nueva sustancia recibe el nombre de solución. Por otra parte, cuando en la dispersión participan grupos moleculares con diámetros menores a  $1 \mu$ , la solución pasa a llamarse suspensión coloidal. Así, en ésta, a los grupos de moléculas dispersados se les llama micelas y a las moléculas disolventes, que actúan entre ellos, se les conoce genéricamente como líquido intermicelar.

En los asfaltos, las sustancias integrantes, distintas unas de otras, son todas solubles entre sí y sus moléculas se agrupan según sus características para formar una suspensión coloidal muy compleja. En esta suspensión, las moléculas más pesadas se agrupan para formar micelas y las moléculas más livianas forman el líquido intermicelar. Pero, en este caso, no son dos las sustancias que participan en la suspensión coloidal, sino una variedad de ellas que tienen composición química complicada y que por sus características físicas afines es posible separarlas molecularmente en dos grandes grupos: Los asfaltenos, que forman micelas, y los maltenos, que constituyen al líquido intermicelar. Estos últimos están compuestos por resinas y aceites, y las resinas forman una fase intermedia que es parte del líquido intermicelar. Los asfaltenos y los maltenos forman, por lo tanto, la composición física más sencilla de los asfaltos. Ver la figura siguiente:

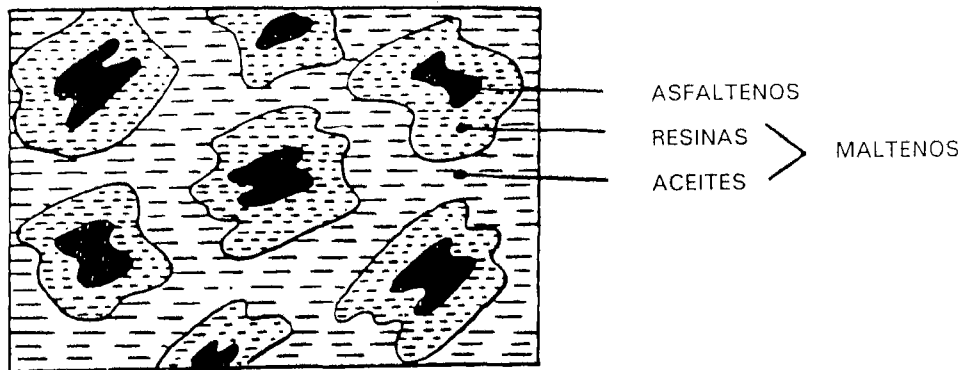


FIGURA 2.4  
COMPOSICIÓN FÍSICA MÁS SIMPLE DE LOS ASFALTOS

### 4. CLASIFICACIÓN

Tomando en cuenta su obtención, la primera clasificación de asfaltos para carreteras empieza con la designación ya considerada, esto es: Cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados.

Se tratará en seguida la división siguiente de cada grupo anterior y no se tomará en cuenta los asfaltos residuales.

### a. CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos se clasifican según su consistencia de fabricación y de los nueve tipos fabricados en Estados Unidos de América, en México sólo se producen cuatro de ellos por ser suficientes para satisfacer las exigencias de las carreteras.

La consistencia de los cementos asfálticos es definida por la penetración que, en décimos de milímetros, registra una aguja especial al ser hundida en una muestra del producto. Esta penetración es el resultado de la aplicación, durante 5 s, de una carga de 100 g, estando la muestra a 25 °C.

Por ser la consistencia una propiedad variable en los cementos asfálticos, resulta razonable que la clasificación en este sentido considere rangos de penetraciones a los cuales es más fácil asignarles números de identificación. Así, de la asignación numérica estadounidense, se tienen los siguientes cementos asfálticos producidos en México.

CEMENTO ASFÁLTICO	PENETRACIÓN EN DÉCIMOS DE MILÍMETROS
CA - 3	180 - 200
CA - 6	80 - 100
CA - 7	60 - 70
CA - 8	40 - 50

### b. ASFALTOS REBAJADOS

Se dijo antes que los asfaltos rebajados se obtienen mezclando algún cemento asfáltico con cierto disolvente ligero proveniente de la destilación primaria del petróleo. Dependiendo de cuál sea el disolvente participante en la mezcla, los asfaltos rebajados pueden ser de los tipos siguientes:

1. ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RÁPIDO (FR): En ellos el disolvente participante en la mezcla es gasolina.
2. ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO (FM): En ellos el disolvente participante en la mezcla es keroseno.
3. ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO (FL): En ellos el disolvente participante en la mezcla es aceite ligero.

Aquí, por fraguado debe entenderse la evaporación del disolvente bajo condiciones ambientales, que permite al cemento asfáltico quedar libre para cumplir la función que en la práctica se requiere. De acuerdo a esto, la gasolina se evapora más rápido que el keroseno y éste lo hace más rápido que el aceite ligero. Esta es la razón por la que el fraguado en los anteriores asfaltos puede ser rápido, medio o lento al utilizarse gasolina, keroseno o aceite ligero, respectivamente.

Nuestro país produce los siguientes asfaltos rebajados FR, FM y FL y todos se diferencian por la cantidad de disolvente específico que contienen:

- a). FR-0, FR-1, FR-2, FR-3 y FR-4.
- b). FM-0, FM-1, FM-2, FM-3 y FM-4
- c). FL-0, FL-1, FL-2, FL-3 y FL-4

En esta clasificación, el orden de la numeración ascendente sugiere un volumen cada vez menor de disolvente y, por lo tanto, menor fluidez del producto. De acuerdo a esto, el asfalto FM-1 es menos fluido que el FM-0, pero más fluido que el FM-2.

### c. ASFALTOS EMULSIONADOS

Estos asfaltos son la mezcla entre un cemento asfáltico y cierta cantidad de agua y de emulgente. En la mezcla, el cemento asfáltico, que no se dispersa en agua, forma diminutos glóbulos de 2 a 6  $\mu$  de diámetro, los cuales se separan entre sí para formar la fase dispersante o discontinua de la emulsión. El agua y el emulgente forman la fase dispersora o continua. Véase la figura 2.6.

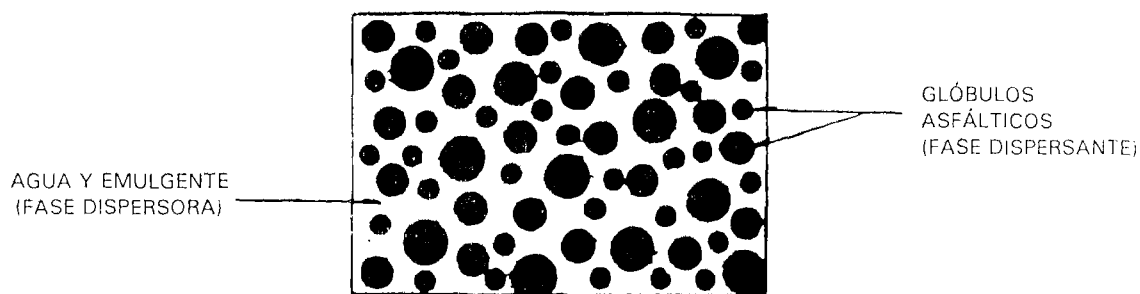


FIGURA 2.5  
REPRESENTACIÓN DE LOS ASFALTOS EMULSIONADOS

Dependiendo del emulgente, podrá fabricarse asfaltos emulsionados con fase dispersante cargada eléctricamente. Si la carga eléctrica fuera positiva (+) el asfalto emulsionado será catiónico y si la carga eléctrica fuera negativa (-) el asfalto emulsionado será aniónico. En cualquiera de estas dos categorías, los glóbulos asfálticos repelerán entre sí y el asfalto emulsionado será compatible a los materiales pétreos de carga eléctrica contraria.

Los asfaltos emulsionados, por lo tanto, formarán dos categorías generales:

1. ASFALTOS EMULSIONADOS ANIÓNICOS DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (RR), ROMPIMIENTO MEDIO (RM) Y ROMPIMIENTO LENTO (RL)
2. ASFALTOS EMULSIONADOS CATIÓNICOS DE ROMPIMIENTO RÁPIDO (RR-K), ROMPIMIENTO MEDIO (RM-K) Y ROMPIMIENTO LENTO (RL-K)

El rompimiento, en este caso, es la unión y endurecimiento de los pequeños glóbulos asfálticos, debido a la evaporación del agua bajo condiciones ambientales, que permite que el cemento asfáltico cumpla la función requerida en la obra.

Desde el punto de vista de su rompimiento, que depende de la cantidad de emulgente participante en la emulsificación, en nuestro país se producen los siguientes asfaltos emulsionados aniónicos y catiónicos:

ASFALTOS EMULSIONADOS					
ANIÓNICOS (-)			CATIÓNICOS (+)		
RR	RM	RL	RR-K	RM-K	RL-K
RR-1	-	RL-1	RR-2K	RM-2K	RL-2K
RR-2	RM-2	RL-2	RR-3K	RM-3K	RL-3K

En esta clasificación, la designación numérica sugiere mayor fluidez del producto a mayor valor. La letra K, en los catiónicos, es simplemente para diferenciarlos de los aniónicos.

### III. PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS

- A. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS
  - 1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS DEL TERRAPLÉN Y LA SUBRASANTE
  - 2. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUELOS DE LA SUBBASE Y LA BASE
  - 3. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUELOS DE LA CARPETA ASFÁLTICA
- B. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS
  - 1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS
  - 2. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS
  - 3. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS EMULSIONADOS

## A. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

Los fragmentos de roca y los suelos son materiales variables en su calidad. Por esto, es importante definir en ellos su aptitud para la formación de las capas estructurales de la carretera.

La calidad en estos materiales se refiere a la resistencia que presentarán ante los esfuerzos cortantes y las deformaciones producidas por la constante circulación de vehículos en la futura carretera. También se tomará en cuenta su capacidad para eliminar el agua que pueda llegar a ellos cuando estén formando la carretera.

La calidad que los fragmentos de roca y los suelos deben cumplir para la buena estructuración de carreteras, queda definida por parámetros que corresponden a diversas características y propiedades particulares. Estas características y propiedades son casi todas intrínsecas y muchas de ellas tienen que ver con aspectos físicos y mecánicos. La calidad queda definida por la limitación de los valores de los parámetros y es esta limitación la que, en última instancia, permite definir si los suelos son aceptados o rechazados como materiales de construcción para carreteras.

En los fragmentos de roca, la definición de la calidad tendrá que ver con su aplicación al terraplén de la carretera y estará relacionada a la determinación de sus tamaños.

La descripción de cada parámetro de calidad, como su determinación por procedimientos de laboratorio, será tratada en el capítulo V y aquí sólo serán descritos en cuanto al valor limitado que deben cumplir para garantizar la eficiente estructuración que las carreteras requieren.

Ya se mencionó que las capas estructurales de la carretera exigen mayor calidad a sus materiales cuanto más cerca se les dispone respecto del nivel de la superficie expuesta al tránsito vehicular. De acuerdo a esto, los parámetros de calidad deben cubrir valores más rigurosos a medida que las capas van siendo más superficiales y algunos de ellos deben ser sustituidos por otros en función de la mayor calidad exigida.

Por lo anterior, es necesario enunciar los parámetros de calidad de los fragmentos de roca y los suelos de acuerdo a la correspondencia con cada capa estructural de la carretera.

### 1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS DEL TERRAPLÉN Y LA SUBRASANTE

Para el terraplén y la subrasante, los suelos se utilizan como son explotados de los bancos naturales, excepto en determinadas ocasiones, en las que algunos necesitarán mezclarse entre sí para obtener otro de mayor calidad granulométrica. Esto es posible porque ambas capas admiten que la calidad en ellos sea relativamente baja, pues reciben esfuerzos disminuidos.

Los fragmentos de roca se ocupan exclusivamente para el terraplén, siempre que exista algún depósito natural aprovechable y se estime que su explotación resulta más barata que la de algún banco de suelo adecuado; en caso contrario, será preferible utilizar suelos de las características apropiadas.

Los parámetros de calidad que los suelos deben satisfacer para el terraplén o a la subrasante, según sea el caso, son los siguientes. En ellos, el primero es el único que se aplica a los fragmentos de roca.

#### a. PARA EL TERRAPLÉN

- 1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA: Tamaño de fragmentos de roca de 7.6 cm a 2.00 m.  
: Tamaño de partículas de suelo de 0.075 mm a 7.6 cm.
- 2). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS: 30 % máximo.
- 3). EL LÍMITE LÍQUIDO: 100 % máximo.
- 4). EL ÍNDICE PLÁSTICO: 25 % máximo.
- 5). EL GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO ESTÁNDAR: 90 % mínimo.
- 6). LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA: 3 % mínimo (seco) y 10 % mínimo (saturado).
- 7). LA EXPANSIÓN: 3 % máximo.

#### b. PARA LA SUBRASANTE

- 1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA: Partículas de suelo de 0.075 mm a 7.6 cm .
- 2). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS: 25 % máximo.
- 3). EL LÍMITE LÍQUIDO: 100 % máximo.
- 4). EL ÍNDICE PLÁSTICO: 25 % máximo.
- 5). EL GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO ESTÁNDAR: 95 % mínimo.
- 6). LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA: 15 % mínimo (seco) y 10 % mínimo (saturado)
- 7). LA EXPANSIÓN: 3 % máximo.

### 2. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUELOS DE LA SUBBASE Y LA BASE

Los materiales para la subbase y la base deben ser bien seleccionados para garantizar la adecuada calidad, que, para la primera serán un poco menor.

En su mayoría, los suelos para estas capas son granulares, es decir, son gruesos con muy poco contenido de partículas finas, y pueden ser encontrados en estado natural o ser de variada combinación entre los naturales y los de trituración de las rocas.

Cualquiera que sea el suelo de probable aplicación para la subbase y la base, deberá cumplir la calidad establecida por los parámetros siguientes, según cada capa.

#### a. PARA LA SUBBASE

##### 1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA:

El tamaño máximo de las partículas será menor a 51 mm.

La curva granulométrica del material se debe localizar dentro de cualquiera de las zonas granulométricas de la figura 3.1, pudiendo ser atravesadas las fronteras de la zona 2, y deberá ser similar a las curvas de la citada figura sin presentar variación brusca de pendiente.

La relación de porcentaje, en peso, de material que atraviesa la malla 0.075 al que atraviesa la malla 0.425 será inferior a 0.65.

##### 2). LA CONTRACCIÓN LINEAL:

Para curvas granulométricas en la zona 1 de la figura 3.1: 6 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona 2 de la figura 3.1: 4.5 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona 3 de la figura 3.1: 3 % máximo.

Si la curva granulométrica del material ocupa dos zonas dentro de la parte limitada por las mallas 0.425 y 0.075, la contracción lineal correcta será la correspondiente a la zona granulométrica que contenga la mayor longitud de la curva.

##### 3). EL VALOR CEMENTANTE:

	<u>Materiales angulosos</u>	<u>Materiales redondos</u>
Para curvas granulométricas en la zona 1 de la figura 3.1:	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	5.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo
Para curvas granulométricas en la zona 2 de la figura 3.1:	3.0 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	4.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo
Para curvas granulométricas en la zona 3 de la figura 3.1:	2.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo

##### 4). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS: 20 % máximo.

##### 5). EL LÍMITE LÍQUIDO: 35 % máximo.

##### 6). EL ÍNDICE PLÁSTICO: 10 % máximo.

##### 7). GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO MODIFICADO: 95 % mínimo.

##### 8). RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA: 30 % mínimo ( seco ) y 50 % mínimo ( saturado )

##### 9). EQUIVALENTE DE ARENA: 20 % mínimo.

#### b. PARA LA BASE

##### 1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA:

El tamaño máximo de las partículas será menor a 51 mm si el material es suelo natural, y menor de 38 mm si el material es producto de la trituración y cribado de las rocas.

La curva granulométrica del material se debe localizar dentro de cualquiera de las zonas granulométricas de la figura 3.1 y será similar a las curvas de las referidas zonas sin presentar variación brusca de pendiente. De preferencia la curva deberá corresponder a la zona 1 o 2.

La relación de porcentaje, en peso, de material que atraviesa la malla 0.075 al que atraviesa la malla 0.425 será inferior a 0.65.

##### 2). LA CONTRACCIÓN LINEAL:

Para curvas granulométricas en la zona 1 de la figura 3.1: 4.5 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona 2 de la figura 3.1: 3.5 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona 3 de la figura 3.1: 2.0 % máximo.

##### 3). EL VALOR CEMENTANTE

	<u>Materiales angulosos</u>	<u>Materiales redondos</u>
Para curvas granulométricas en la zona 1 de la figura 3.1:	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	5.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo
Para curvas granulométricas en la zona 2 de la figura 3.1:	3.0 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	4.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo
Para curvas granulométricas en la zona 3 de la figura 3.1:	2.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo	3.5 Kg / cm <sup>2</sup> mínimo

##### 4). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS: 15 % máximo.

##### 5). EL LÍMITE LÍQUIDO: 30 % máximo.

##### 6). EL ÍNDICE PLÁSTICO: 6 % máximo.

##### 7). EL GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO MODIFICADO: 100 % mínimo.

##### 8). LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA: 80 % mínimo (para TPDA de hasta 1000 vehículos) : 100 % mínimo (para TPDA mayor a 1000 vehículos)

##### 9). EL EQUIVALENTE DE ARENA: 30 % mínimo (para TPDA de hasta 1000 vehículos) : 50 % mínimo (para TPDA mayor a 1000 vehículos)

##### 10). EL ÍNDICE DE DURABILIDAD: 35 % mínimo (para TPDA de hasta 1000 vehículos) : 40 % mínimo (para TPDA mayor a 1000 vehículos)

##### 11). EL DESGASTE LOS ÁNGELES: 40 % máximo.

## 12). LA AFINIDAD CON EL ASFALTO:

12.1). EL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN: 25 % máximo.

12.2). EL CUBRIMIENTO CON ASFALTO: 90 % mínimo.

12.3). EL DESPRENDIMIENTO DE PELÍCULA: 25 % máximo.

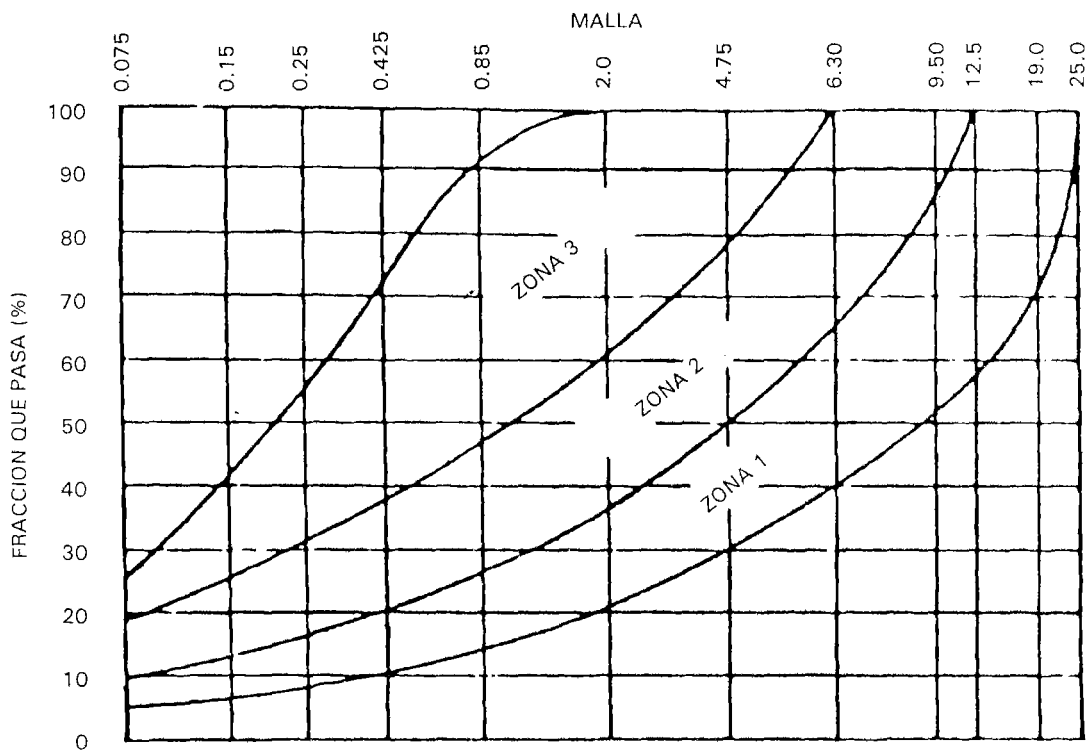


FIGURA 3.1  
ZONAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUELOS DE LA SUBBASE Y BASE

## 3. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUELOS DE LA CARPETA ASFÁLTICA

Los suelos para construir la carpeta asfáltica provienen de las zonas de donde se explotan los de la subbase y la base, sólo que la calidad en ellos será excelente, por lo que siempre serán sometidos a trituración y cribado adicionales para obtener tamaños de partículas adecuados; además, cuando se les obtenga contaminados con partículas finas, será necesario lavarlos para evitar la

adherencia dificultosa con los asfaltos. Al conjunto de ellos se les llama agregados pétreos porque, al ser construida la carpeta asfáltica, formarán parte de la mezcla asfáltica.

Los parámetros que los agregados pétreos deben cumplir son variables en su exigencia cualitativa y la variación depende del procedimiento constructivo de la carpeta asfáltica; es decir, si la carpeta ha de construirse mediante mezclas asfálticas hechas en planta estacionaria o en el lugar de su colocación, o mediante tratamientos superficiales por riego. Para los primeros dos procedimientos anteriores, los parámetros de calidad son más exigentes que para el último.

De acuerdo a los procedimientos constructivos de la carpeta antes señalados, los parámetros de calidad que los agregados pétreos deben cumplir son los siguientes:

**a. PARA CARPETA ASFÁLTICA HECHA CON MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN PLANTA ESTACIONARIA O EN EL LUGAR DE SU COLOCACIÓN**

**1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA**

La curva granulométrica del agregado pétreo, para las mezclas asfálticas elaboradas en el lugar de su colocación, se debe ubicar dentro de la zona granulométrica 1 o 2 de la figura 3.2, debiendo ser similar a las curvas que delimitan a ambas zonas, por lo menos en dos terceras partes de sus longitudes, sin presentar variación brusca de pendiente.

La curva granulométrica del agregado pétreo, para las mezclas elaboradas en planta estacionaria, se debe ubicar dentro de la zona única indicada en la figura 3.3, debiendo ser similar a las curvas que la delimitan, sin presentar variación brusca de pendiente.

El tamaño de las partículas del agregado pétreo debe encontrarse dentro de la tolerancia, en peso, de acuerdo a las mallas siguientes:

FRACCIÓN QUE PASA	FRACCIÓN RETENIDA	TOLERANCIA (+,-) ( % en peso del agregado )
Malla para el tamaño máximo	Malla 4.75	5
Malla 4.75	Malla 2.00	4
Malla 2.00	Malla 0.425	3
Malla 0.425	Malla 0.075	2
Malla 0.075		1

**2). LA CONTRACCIÓN LINEAL:**

Para curvas granulométricas en la zona 1 de la figura 3.2: 3 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona 2 de la figura 3.2: 2 % máximo.

Para curvas granulométricas en la zona única de la figura 3.3: 2 % máximo.

**3). EL DESGASTE LOS ÁNGELES: 40 % máximo.**

**4). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS LARGAS: 35% máximo.**

**5). LA AFINIDAD CON EL ASFALTO:**

5.1). EL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN: 5 % máximo.

5.2). EL CUBRIMIENTO CON ASFALTO: 90 % máximo.

5.3). LA PÉRDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN: 25 % máximo.

**6). EL EQUIVALENTE DE ARENA: 55 % mín.**

**b. PARA CARPETA ASFÁLTICA HECHA CON TRATAMIENTOS SUPERFICIALES POR RIEGO**

**1). LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA:** Según lo indicado en la tabla 3.1.

**2). EL DESGASTE LOS ÁNGELES: 30 % máximo.**

**3). EL INTEMPERISMO ACELERADO: 12 % máximo.**

**4). EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS LARGAS: 35 % máximo.**

**5). LA AFINIDAD CON EL ASFALTO:**

5.1). EL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN: 25 % máximo.

5.2). EL CUBRIMIENTO CON ASFALTO: 90 % máximo.



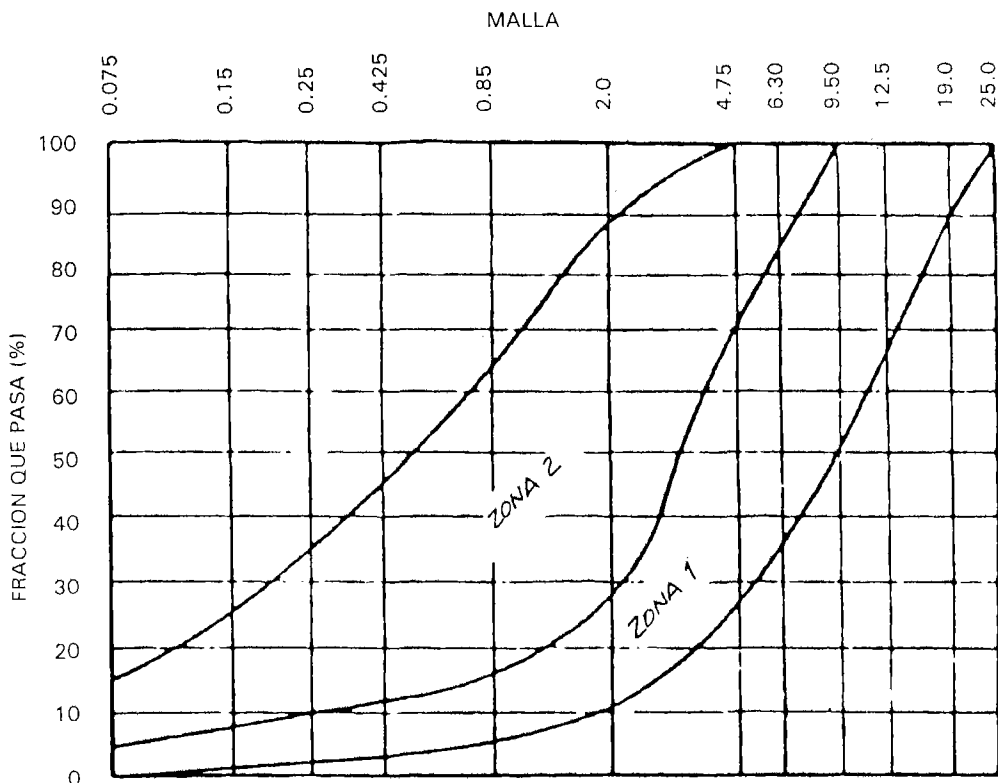


FIGURA 3.2  
ZONAS GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADOS PÉTREOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ELABORADAS EN EL LUGAR DE SU COLOCACIÓN

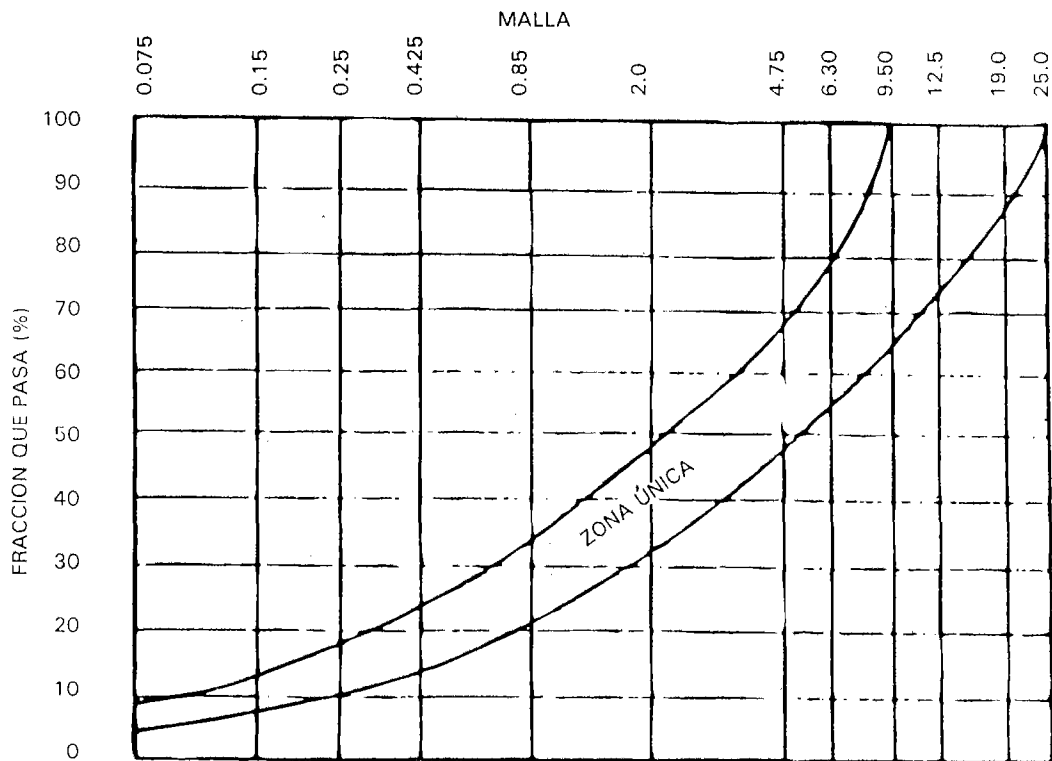


FIGURA 3.3  
ZONAS GRANULOMÉTRICAS PARA AGREGADOS PÉTREOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ELABORADAS EN PLANTA ESTACIONARIA

MATERIAL	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA							
	31.5	25.0	19.0	12.5	9.5	6.3	4.75	2.36
1	100	95, mínimo		5, máximo				
2			100	95, mínimo		5, máximo		
3-A				100	95, mínimo			5, máximo
3-B					100	95, mínimo		5, máximo
3-E				100	95 mínimo		5, máximo	

TABLA 3.1  
COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADOS PÉTREOS DE CARPETAS ASFÁLTICAS HECHAS CON TRATAMIENTOS SUPERFICIALES POR RIEGO

## B. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS

Los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados deben ser sometidos a la revisión de sus parámetros de calidad antes de ser destinados a la carpeta asfáltica. En ellos, la calidad busca la eficiente adherencia con los agregados pétreos durante la fabricación de la mezcla asfáltica, la cual traerá estabilidad a la carpeta asfáltica.

A cada clase de asfalto corresponden parámetros de calidad específicos y, similar a los suelos, muchos son propiedades intrínsecas y todos serán evaluados por procedimientos de laboratorio.

La clasificación de los asfaltos sugiere la calidad en ellos, ya que los cementos asfálticos son mejores que los asfaltos rebajados y estos últimos mejores que los asfaltos emulsionados. Esto se debe a que, en las dos últimas categorías, las propiedades aglutinantes del cemento asfáltico original son algo alteradas por la presencia de cantidades extraordinarias de disolventes específicos y de agua. Por esto también, dependiendo del producto asfáltico utilizado, la calidad de la carpeta asfáltica será un poco variable; es decir, se tendrá una carpeta de excelente calidad si es construida usando mezcla asfáltica en caliente, elaborada en planta estacionaria, y en donde el aglutinante es algún cemento asfáltico; por otra parte, la carpeta será de buena calidad si es construida con mezcla asfáltica elaborada en el lugar de su colocación y en donde el aglutinante es algún asfalto rebajado; por último, la carpeta será de regular calidad si es construida con mezcla asfáltica a partir de tratamientos superficiales por riego y en donde el aglutinante es algún asfalto emulsionado.

Los parámetros de calidad para cada tipo de asfalto son los siguientes:

### 1. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

CEMENTO ASFÁLTICO	CA - 3	CA - 6	CA - 7	CA - 8
1). LA PENETRACIÓN ( décimos de mm ):	180-200	80-100	60-70	40-50
2). LA VISCOSIDAD SAYBOLT - FUROL, mínimo, ( s ):	60	85	100	120
3). EL PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND, mínimo, ( ° C ):	220	232	232	232
4). EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO, ( ° C ):	37-43	45-52	48-56	52-60
5). LA DUCTILIDAD, mínimo, ( cm ):	6	10	10	10
6). LA SOLUBILIDAD, mínimo, ( % ):	99.5	99.5	99.5	99.5
7). LA PENETRACIÓN RETENIDA, mínimo, ( % ):	40	50	54	58
8). LA PÉRDIDA DE PESO POR CALENTAMIENTO, máximo, ( % ):	1.4	1.0	0.8	0.8

## 2. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS REBAJADOS

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO RÁPIDO	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
1). EL PUNTO DE INFLAMACIÓN TAG, mínimo, ( ° C ) :	-	-	27	27	27
2). LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL ( s ):					
a 25 ° C	75-150				
a 50 ° C		75-150			
a 60 ° C			100-200	250-500	
a 82 ° C					125-250
3). EL CONTENIDO DE DISOLVENTE POR DESTILACIÓN, máximo (%):					
hasta 190 ° C	15	10	-	-	-
hasta 225 ° C	55	50	40	25	8
hasta 260 ° C	75	70	65	55	40
hasta 315 ° C	90	88	87	83	80
4). EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, mínimo, ( % ):	50	60	67	73	78
5). EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN, máximo, ( % ):	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
6). LA PENETRACIÓN EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, ( décimo de mm ):	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120
7). LA DUCTILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( cm ):	10	10	10	10	10
8). LA SOLUBILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( % ):	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO MEDIO	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
1). EL PUNTO DE INFLAMACIÓN TAG, mínimo, ( ° C ) :	38	38	66	66	66
2). LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL ( s ):					
a 25 ° C	75-150				
a 50 ° C		75-150			
a 60 ° C			100-200	250-500	
a 82 ° C					125-250
3). EL CONTENIDO DE DISOLVENTE POR DESTILACIÓN, máximo (%):					
hasta 225 ° C	20	20	10	5	-
hasta 260 ° C	40-70	25-65	15-55	5-40	30
hasta 315 ° C	75-93	70-90	60-87	55-85	40-80
4). EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, mínimo, ( % ):	50	60	67	73	78
5). EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN, máximo, ( % ):	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
6). LA PENETRACIÓN EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, ( décimo de mm ):	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300
7). LA DUCTILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( cm ):	10	10	10	10	10
8). LA SOLUBILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( % ):	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

ASFALTOS REBAJADOS DE FRAGUADO LENTO	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4
1). EL PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND, mínimo, ( ° C ) :	66	66	800	93	107
2). LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL ( s ):					
a 25 ° C	75-150				
a 50 ° C		75-150			
a 60 ° C			100-200	250-500	
a 82 ° C					125-250
3). EL CONTENIDO DE DISOLVENTE POR DESTILACIÓN, máximo (%):					
hasta 315 ° C	15-40	10-30	5-25	2-10	0-10
4). EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN, máximo, (%):	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5). EL RESÍDUO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 100, mínimo, (%):	40	50	60	70	75
6). LA VISCOSIDAD POR FLOTACIÓN, mínimo, (s):	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150
7). LA DUCTILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO , mínimo, ( cm ):	10	10	10	10	10
8). LA SOLUBILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo , ( % ):	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5

### 3. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS EMULSIONADOS

ASFALTOS EMULSIONADOS ANIÓNICOS	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1	RL-2
1). LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL, ( s ):					
a 25 ° C	20-100		100	20-100	20-100
a 50 ° C		75-400			
2). EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, mínimo, ( % ):	57	62	62	57	57
3). EL ASENTAMIENTO EN CINCO DIAS, máximo , ( % ):	3	3	3	3	3
4). LA DESEMULSIBILIDAD ( % )					
en 35 ml de Ca Cl	60	50	-	-	-
en 50 ml de Ca Cl	-	-	3	-	-
5).EL RETENIDO EN LA MALLA 0.850 ,máximo , ( %	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
6). LA MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND, máximo, ( % )	-	-	-	2	2
7). LA PENETRACIÓN EN EL RESIDUO ASFÁLTICO,(décimo de mm):	100-200	100-200	100-200	100-200	100-200
8). LA SOLUBILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( % ):	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
9). LA DUCTILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( cm ):	4	4	4	4	4

ASFALTOS EMULSIONADOS CATIONICOS	RR-2K	RR-3K	RM-2K	RML-3K	RL-2K	RL-3K
1). LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL, ( s ):						
a 25 ° C	-	-	-	-	20-100	20-100
a 50 ° C	20-100	20-400	50-500	50-500		
2). EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, mínimo, ( % ):	60	65	60	65	57	57

3). EL ASENTAMIENTO EN CINCO DIAS, máximo, ( % ):	5	5	5	5	5	5
4). EL RETENIDO EN LA MALLA 0.850 ,máximo, ( % )	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
5). EL CUBRIMIENTO DEL AGREGADO, mínimo (%):						
Seco:	-	80	60	-	-	-
Húmedo:	-	80	60	-	-	-
6). LA MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND, máximo, ( % )	-	-	-	-	2	2
7). LA CARGA ELÉCTRICA DE LA PARTÍCULA:	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-
8). EL POTENCIAL HIDRÓGENO, máximo (pH):	-	-	-	-	6.7	6.7
9). EL CONTENIDO DE DISOLVENTE, máximo (%):	3	3	2	12	-	-
10). LA PENETRACIÓN EN EL RESIDUO ASFÁLTICO,(déc. de mm):	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
11). LA SOLUBILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( % ):	97	97	97	97	97	97
12). LA DUCTILIDAD EN EL RESIDUO ASFÁLTICO, mínimo, ( cm ):	4	4	4	4	4	4

La viscosidad Saybolt - Furol no aumentará más del 30 % al bajar la temperatura de 20 a 10 ° C, ni disminuirá más del 30 % al subir la temperatura de 20 a 40 ° C.

## IV. MUESTREO DE MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS

- A. IMPORTANCIA DEL MUESTREO
- B. MUESTREO DE FRAGMENTOS DE ROCA
  - 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS
  - 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS
  - 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS
- C. MUESTREO DE SUELOS
  - 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS
  - 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS
  - 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS
- D. MUESTREO DE ASFALTOS
  - 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS
  - 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS
  - 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS
- E. TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS MUESTRAS
  - 1. EL SECADO
  - 2. LA DISGREGACIÓN
  - 3. EL CUARTEO

## A. IMPORTANCIA DEL MUESTREO

Para conocer la calidad de los fragmentos de roca, suelos y asfaltos es necesaria la revisión de sus parámetros de calidad mediante procedimientos estandarizados de laboratorio, que deberán ser correctamente ejecutados para garantizar resultados confiables. Si los resultados fueran consecuencia de procedimientos mal ejecutados, la calidad que de ellos se deduzca será incierta y pondrá en riesgo la función estructural de la carretera.

Pero aún cuando los procedimientos de laboratorio fueran ejecutados eficientemente, ningún resultado será confiable sin la ejecución correcta de otra actividad: La obtención de muestras.

A la obtención de muestras de materiales se le llama muestreo y consiste esencialmente en la extracción de una o más porciones de material que sea la más fiel representación del volumen total disponible.

El muestreo exige la participación de profesionales expertos, que puedan decidir correctamente a cerca de los sitios de extracción, el número de muestras a extraer, la profundidad y procedimiento de extracción, etc. Si el muestreo es dirigido por personas inexpertas, las muestras extraídas serán falsa representación de los materiales en sitio y los resultados de los procedimientos de laboratorio serán inútiles y perjudiciales para la futura carretera. Por esto es importante el muestreo correcto al determinar la calidad de los fragmentos de roca, suelos y asfaltos.

## B. MUESTREO DE FRAGMENTOS DE ROCA

Se efectuará el muestreo en los fragmentos de roca sólo para conocer su clasificación de acuerdo al tamaño de los fragmentos.

Cuando el perfil de la carretera indique terraplén en cierto kilometraje, se utilizará material de los cortes más cercanos, aún cuando sean fragmentos de roca.

Los fragmentos de roca, por lo tanto, serán ocasionales para el terraplén y se usarán en función de la cercanía del banco o del corte y por esto representarán volúmenes mínimos con relación al total de los materiales que formarán la carretera.

El muestreo de fragmentos de roca consiste en las siguientes etapas:

### 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS

Para ubicar las extracciones de las muestras se tendrá en cuenta el tamaño del yacimiento y el número de extracciones afectará el área representativa del volumen aprovechable, correspondiendo a una distribución conveniente en toda el área de probable explotación.

### 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de fragmentos de roca serán extraídas con palas, picos, barretas, pulsetas, martillos, cinceles, etc.

Utilizando la herramienta apropiada, en los sitios de extracción de yacimientos horizontales, se limpiará un área que permita la excavación del material hasta 1.5 m de profundidad. La excavación permitirá remover suficiente material, que será depositado sobre una lona de hule de 3 m por lado, en donde será extendido y secado al sol para el rompimiento de sus partes aglomeradas mediante un mazo de madera de 10 x 10 x 15 cm. Así, el material será cribado por la malla 75.0 para la separación de los fragmentos de roca cuando vengan acompañados por suelos. El material retenido en esta malla corresponderá a fragmentos de roca y el que pasa corresponderá a suelos y ambos volúmenes serán obtenidos en porcentaje respecto del volumen total del material excavado.

Si el yacimiento presenta frentes abiertos, la extracción de material se hará abriendo canales perpendiculares a todos los estratos y después se procederá de acuerdo a lo expuesto para yacimientos horizontales.

Las muestras de fragmentos de roca serán las cantidades de materiales retenidas en la malla 75.0 y el peso de ellas será de 40 Kg .

### 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS

Para su transportación al laboratorio, las muestras de fragmentos de roca serán depositadas en bolsas de lona debidamente etiquetadas por fuera y por dentro, con los datos del tipo de obra y su localización, número de muestra y su ubicación, espesor del estrato muestreado, uso de la muestra, nombre del operador, fecha del muestreo y demás observaciones.

La transportación de las muestras no permitirá roturas en las bolsas, para evitar pérdida de fragmentos.

## C. MUESTREO DE SUELOS

Los suelos exigen un estudio cualitativo mayor que el de los fragmentos de roca y por ello requieren un muestreo más extenso, que comprende dos etapas: La preliminar y la definitiva.

Se obtendrán muestras preliminares para conocer la calidad aproximada de los suelos en función de su clasificación. Esta aproximación será suficiente para saber si los suelos *in situ* son aprovechables para la obtención de muestras definitivas que conduzcan a una mayor precisión de la calidad.

Para sus dos etapas, el muestreo de suelos incluye lo siguiente:

## 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS

Dependiendo de la capa estructural a formar, el material para la carretera será obtenido de suelos naturales, suelos de trituración de rocas y suelos combinados.

Los suelos naturales serán encontrados en yacimientos a lo largo de la ruta proyectada, los de trituración de rocas son los que obtiene el tamaño de sus partículas a partir de rocas trituradas y cribadas en maquinarias especiales y los combinados son los que resultan de la mezcla entre los dos anteriores.

La ubicación de muestras de suelo se hará de acuerdo a las categorías anteriores.

### a. UBICACIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS NATURALES

En suelos naturales, la extracción de muestras cumplirá separaciones de acuerdo a la variación física del material y al tipo de muestreo.

En suelos homogéneos, la extracción de muestras se hará a separaciones mayores que en los heterogéneos, tanto para muestreo preliminar como definitivo.

En yacimientos homogéneos de préstamos laterales, la extracción de muestras se hará a distancias no mayores a 50 m y la profundidad de la extracción será suficiente para definir el espesor del material aprovechable. Si el yacimiento se localiza fuera del derecho de vía, será suficiente una extracción por cada 1600 m<sup>2</sup> de zona potencialmente aprovechable. Para estos dos casos, las extracciones se ubicarán en cuadrícula.

Para cortes a lo largo de la ruta proyectada, las extracciones de las muestras se harán a no más de 100 m, en el sentido del kilometraje, y por lo menos tres extracciones afectarán el ancho de la franja de terreno. En este caso, la separación a lo largo del kilometraje podrá variar según lo siguiente: Si el perfil estratigráfico de la carretera es homogéneo durante cierto kilometraje, las extracciones podrán separarse en más de 100 m. Si el perfil indica heterogeneidad del suelo en cierto kilometraje, se podrá extraer muestras de las zonas más heterogéneas considerando separaciones menores a 100 m. Por último, si por topografía abrupta, el perfil estratigráfico de la carretera cambia de zona de corte a zona de relleno, las extracciones se ubicarán en la zona de corte y quedarán separadas a no más de 100 m, dependiendo del kilometraje afectado por la zona. Para estos casos, la profundidad de las extracciones no será mayor a 1.50 m.

En yacimientos de suelos, para muestreo preliminar, se harán más de dos extracciones, dependiendo de la extensión del yacimiento. La separación de ellas formará cuadrícula a no más de 50 m. Si para este caso el muestreo fuera definitivo, se podrá intercalar extracciones para reducir la separación.

### b. UBICACIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS DE TRITURACIÓN DE ROCAS

En estos suelos las extracciones de muestras se hará durante la trituración de fragmentos de roca en la planta o cuando el material ya procesado sea almacenado formando montones o camellones.

Para el primer caso se atacará la descarga de la banda transportadora de la maquinaria de trituración o interceptando el material del elevador de cangilones en lapsos regulares. También se podrá tomar el material de la descarga de la tolva a cada cierto volumen producido.

En el segundo caso, la ubicación de muestras afectará toda la altura y corona del material amontonado y para camellones las extracciones se harán a cada 10 m, dependiendo de la longitud del camellón, y afectará la altura y la corona.

### c. UBICACIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS COMBINADOS

Cuando sean combinados suelo naturales y de trituración, seguramente serán dispuestos en montones o camellones antes de ser extendidos en el lugar de su colocación. En tales casos, las extracciones de muestras serán ubicadas de acuerdo a la sección anterior.

## 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Las extracciones de muestras de suelo también varían al tratarse de suelos naturales, suelos de trituración de rocas o suelos combinados.

### a. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS NATURALES

En suelos naturales podrán extraerse muestras alteradas o muestras inalteradas, dependiendo de la exigencia de los parámetros de calidad.

Las muestras alteradas son porciones de suelo que se extraen en disgregación, rompiendo su estructura física original, y en la que se modifica su contenido de agua natural.

Las muestras inalteradas serán aquellas porciones de suelo extraídas con la mínima modificación posible de las condiciones naturales del suelo *in situ*, sobre todo en cuanto a su contenido de agua original y agrupamiento de sus partículas.

Las muestras de suelo serán obtenidas mediante palas, picos, barretas, pulsetas, posteadoras y barrenos helicoidales manuales, según se requiera.

Para extraer muestras alteradas se procederá de dos maneras:



1). Mediante excavaciones a cielo abierto, en la que será eliminada la capa vegetal o erosionada del terreno y se hará una excavación a profundidad y extensión deseadas. El material excavado será depositado sobre una lona de hule de 1.20 x 1.20 m y, por cuarteo, se tomará la muestra representativa que será de 40 Kg. El cuarteo es la división, en cuatro partes iguales, de cierta porción de suelo seca y disgregada, para juntar dos partes alternas y repetir el procedimiento hasta que la porción original sea reducida a la cantidad requerida por la muestra.

También se podrá extraer muestras de suelo de las paredes y el fondo de la excavación a cielo abierto.

2). Mediante ranuras, en suelos con frentes naturales, las muestras serán extraídas eliminando previamente los materiales extraños y haciendo canales de 25 cm de profundidad. La longitud de los canales afectará todos los estratos del frente y el material total será depositado sobre una lona de hule, para obtener de él, por cuarteo, la muestra representativa de 40 Kg. A esta se le llamará muestra integral por estar formada con material de distintos estratos del frente abierto.

Las muestras inalteradas serán extraídas mediante excavaciones a cielo abierto, labrando en las paredes o el fondo de la excavación un cubo de tierra de dimensión apropiada, que será protegido contra la pérdida de humedad y disgregación con una envoltura de manta cubierta de brea y parafina.

#### b. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS DE TRITURACIÓN DE ROCAS

Para la extracción de muestras en suelos de trituración de rocas, en la planta de trituración se tomarán porciones cada 10 min hasta completar 40 Kg, que será la muestra representativa del material producido durante 30 min. Esto se hará cuando el material sea tomado de la descarga de la banda transportadora o del elevador de cangilones. Cuando sea considerada la descarga de la tolva, se tomará 1 m<sup>3</sup> de material por cada 400 m<sup>3</sup> o fracción menor de volumen producido, de donde se tomará, por cuarteo, la muestra de 40 Kg.

Para montones o camellones de suelos de trituración, se tomarán cantidades suficientes para obtener las muestras que sean necesarias.

#### c. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS EN SUELOS COMBINADOS

Cuando haya de combinarse suelos naturales y de trituración de rocas, seguramente serán dispuestos en montones o camellones antes de su colocación en la obra. En tal caso las muestras serán extraídas de acuerdo a la sección anterior.

### 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras serán depositadas en bolsas de lona y, separadas con aserrín, quedarán colocadas en cajas de madera. Cada una será etiquetada con el tipo de obra, ubicación del muestreo, número de muestra y profundidad de su extracción, espesor del estrato de suelo muestreado, uso de la muestra, nombre del operador y fecha del muestreo.

## D. MUESTREO DE ASFALTOS

El muestreo para los asfaltos consistirá en lo siguiente:

### 1. UBICACIÓN DE MUESTRAS

Se extraerán muestras de cualquier asfalto almacenado en uno o varios depósitos o durante las maniobras de carga y descarga del camión-cisterna que lo transporta.

Para asfaltos en un depósito, como un tanque sobre la tierra, una cisterna en el subsuelo o un camión cisterna estacionado, se ubicará una extracción a la mitad de cada tercio de la profundidad del producto, siempre que el depósito sea un cilindro vertical. Si el depósito fuera un cilindro horizontal, la extracción tomará en cuenta la profundidad del producto en función del diámetro del depósito, como se indica en seguida:

PROFUNDIDAD, EN % DEL DIÁMETRO DEL DEPÓSITO	NIVEL SUPERIOR, EN % DEL DIÁMETRO DEL DEPÓSITO	NIVEL MEDIO, EN % DEL DIÁMETRO DEL DEPÓSITO	NIVEL INFERIOR, EN % DEL DIÁMETRO DEL DEPÓSITO
100	80	50	20
90	75	50	20
80	70	50	20
70		50	20
60		50	20
50		50	20
40		40	20
30			15

TABLA 4.1  
PROFUNDIDADES DE EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA DEPÓSITOS CILÍNDRICOS HORIZONTALES

Para asfaltos en varios depósitos, como los tambores o cuñetes, se ubicarán extracciones agrupando los depósitos por lote, según la clase, origen y fabricación del producto. La elección de los depósitos para la extracción de muestras será arbitraria y el número de ellos será seleccionado de acuerdo a la tabla siguiente, en los que la extracción se hará a dos profundidades cualesquiera.

TOTAL DE DEPÓSITOS EN EL LOTE	NÚMERO DE DEPÓSITOS ELEGIDOS PARA LA EXTRACCIÓN DE MUESTRAS
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 206	6
207 a 243	7
244 a 343	8
344 a 512	9
513 a 729	10
730 a 1000	11

TABLA 4.2  
ELECCIÓN DE DEPÓSITOS EN ALMACENAMIENTOS POR LOTE

## 2. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

La extracción de muestras en los asfaltos tomará en cuenta el mínimo calentamiento necesario y se empleará un extractor metálico, que será fijado a una varilla para su inmersión, debiendo permanecer tapado y hacia arriba cuando se encuentre en el sitio de la extracción.

En almacenamiento de un depósito, las tres muestras extraídas serán de dos litros para cementos asfálticos y asfaltos rebajados y de 4 l para asfaltos emulsionados. Cuando se requiera, cada muestra será vertida en distinto recipiente para verificar su homogeneidad y tomar de ellas partes proporcionales para formar una muestra integral de 2 o 4 l, según el tipo de asfalto.

Para depósitos en lote, en los elegidos será introducido el extractor hasta la profundidad deseada y permanecerá separado 10 cm de las paredes del depósito. También las muestras serán individuales o integrales, de 2 o 4 l, de acuerdo al tipo de asfalto.

Cuando el asfalto sea semisólido, las muestras serán extraídas con una espátula, procurando la extracción al centro del depósito y a más de 10 cm de profundidad. En este caso, la muestra será de 2 Kg.

## 3. TRANSPORTACIÓN DE MUESTRAS

Las muestras de asfalto ocuparán recipientes de lámina o vidrio y quedarán bien tapados. Todos llevarán una tarjeta conteniendo la clase de asfalto, su aplicación, el tipo de obra, el lugar y nivel de la extracción y demás observaciones necesarias.

El traslado de las muestras se hará evitando movimientos bruscos a los recipientes.

## E. TRATAMIENTO PRELIMINAR DE LAS MUESTRAS

Antes de ser sometidas a la determinación de los parámetros de calidad, las muestras de suelo serán preparadas para adquirir condiciones físicas adecuadas. Esta preparación es llamada tratamiento preliminar y consistirá en las etapas siguientes:

### 1. EL SECADO

El secado facilitará la disgregación de la muestra alterada y se logrará exponiendo la muestra al sol o al horno a 50 °C.

Durante el secado, la muestra alterada será removida periódicamente hasta que la humedad se evapore lo suficiente para la fácil disgregación. No se aplicará alta temperatura para evitar modificaciones en la plasticidad y contenido de materia orgánica del suelo representado en la muestra y para muestras de suelo con alto contenido de partículas finas se evitarán aglomeraciones.

### 2. LA DISGREGACIÓN

La disgregación permite la separación de las partículas aglomeradas que contiene la muestra alterada. Para lograr esta separación se hará lo siguiente:

- Será pesada la muestra seca y se registrará el peso en gramos.
- Se hará pasar la muestra por la malla 4.75 y la fracción que pasa será colocada en una charola para la disgregación manual de sus partículas aglomeradas. La fracción retenida se hará pasar por la malla 75.0, para obtener de nuevo una fracción retenida.
- La fracción que pasa la malla 75.0 será colocada en otra charola y a la fracción retenida, en su charola, se le romperán sus partículas aglomeradas con un mazo de madera. Así, a esta fracción retenida se le hará pasar por la malla 75.0 para obtener otra fracción que pasa y otra fracción retenida. En este caso, la fracción que pasa será juntada con la que pasó la misma malla en el cribado anterior y a la fracción retenida se le registrará su peso en gramos y será eliminada.

- Se hará pasar por la malla 50.0 el total de la fracción que pasó la malla 75.0 en los cribados anteriores y la fracción que pasa será apartada, en tanto que a la fracción retenida se le romperán las partículas aglomeradas con el mazo de madera, para hacerla pasar por la malla 50.0 y obtener de nuevo una fracción que pasa y otra retenida. Esta nueva fracción que pasa será juntada con la que pasó la misma malla en el primer cribado, en tanto que la fracción retenida se agregará a la fracción que pasó la malla 4.75.
- Tomando el total de la fracción que pasó la malla 50.0, será repetido para las mallas 25.0 y 9.5 todo lo indicado en el párrafo anterior.
- Finalmente, con el total de la fracción retenida en la malla 9.5 se hará un cribado por la malla 4.75, para obtener una fracción que pasa y una fracción retenida y ambas serán agregadas a las fracciones retenidas de todos los cribados.

El procedimiento anterior corresponde la figura 4.1, de donde se puede deducir que la muestra original podrá no se igual a la muestra disgregada, dependiendo de la retención de fragmento de roca en la malla 75.0, que serán eliminados.

**3. EL CUARTEO**

Mediante repeticiones sucesivas, el cuarteo permite la reducción de la muestra disgregada. El procedimiento consiste en formar un cono, depositando el material en una lona de hule, de tal manera que adquiera por sí solo su ángulo natural de reposo. Formado el cono, se encaja la pala en su vértice para lograr que su altura sea de 15 a 20 cm. Luego se divide en cuatro partes iguales mediante una regla apropiada, se juntan dos partes alternas y se repite con ellas el procedimiento inicial hasta lograr el tamaño conveniente de la muestra.

Es importante que en cada repetición del cuarteo no se pierdan las partículas finas.

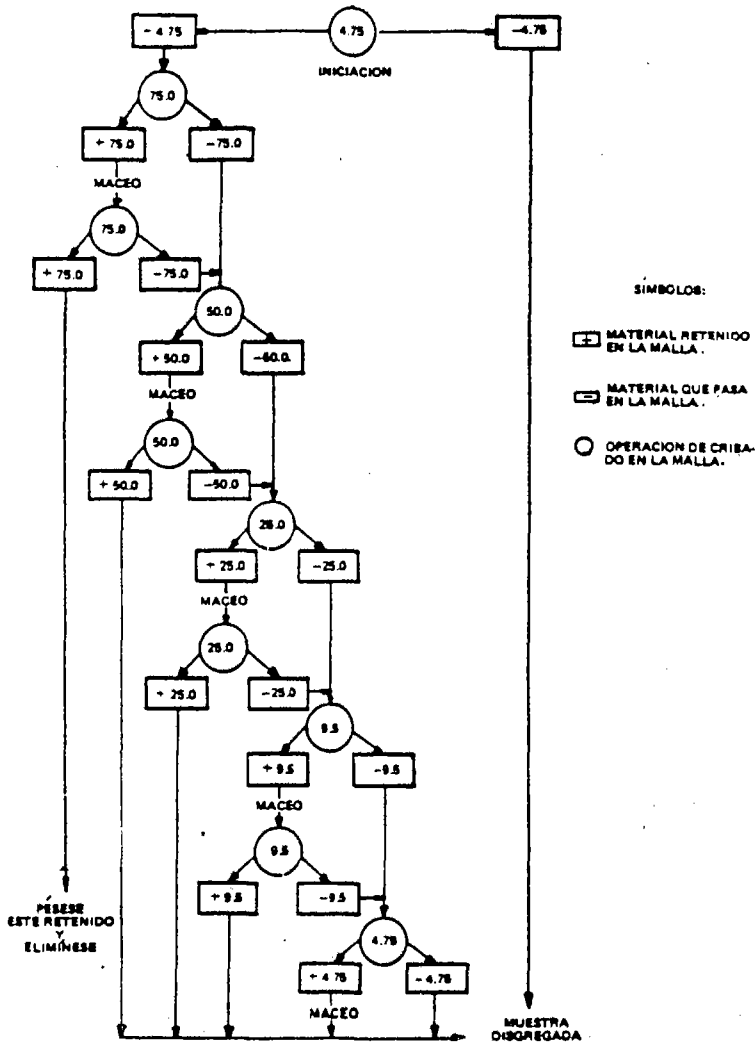


FIGURA 4.1  
DISGREGACIÓN DE MUESTRAS ALTERADAS

## V. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS MATERIALES PARA ESTRUCTURACIÓN DE CARRETERAS

### A. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

1. LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA
2. EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS
3. EL LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE PLÁSTICO
4. EL GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO ESTÁNDAR
5. EL GRADO DE COMPACTACIÓN AASHTO MODIFICADO
6. LA CONTRACCIÓN LINEAL
7. LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA
8. EL VALOR CEMENTANTE
9. EL EQUIVALENTE DE ARENA
10. LA DURABILIDAD
11. EL DESGASTE LOS ÁNGELES
12. LA AFINIDAD CON EL ASFALTO:
  - 12.1. EL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN
  - 12.2. EL CUBRIMIENTO CON ASFALTO
  - 12.3. EL DESPRENDIMIENTO DE PELÍCULA
  - 12.4. LA PÉRDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN
13. EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS LARGAS
14. EL INTEMPERISMO ACELERADO

### B. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS

1. LA PENETRACIÓN
2. LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL Y LA VISCOSIDAD POR FLOTACIÓN
3. EL PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND Y EL PUNTO DE INFLAMACIÓN TAG
4. EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO
5. LA DUCTILIDAD
6. LA SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO
7. LA PÉRDIDA DE PESO POR CALENTAMIENTO Y LA PENETRACIÓN RETENIDA
8. EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN EN LOS ASFALTOS REBAJADOS
9. LAS FRACCIONES DE DISOLVENTES DESTILADAS Y EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, EN LOS ASFALTOS REBAJADOS
10. EL RESIDUO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 100
11. EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN Y EL CONTENIDO DE DISOLVENTE, EN LOS ASFALTOS EMULSIONADOS
12. LA SEDIMENTACIÓN EN 5 DÍAS
13. LA DESEMULSIBILIDAD
14. EL RETENIDO EN LA MALLA 0.850
15. LA MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND
16. EL CUBRIMIENTO DEL AGREGADO
17. LA CARGA ELÉCTRICA DE LA PARTÍCULA
18. EL POTENCIAL HIDRÓGENO

## A. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACION DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA FRAGMENTOS DE ROCA Y SUELOS

En esta parte será tratada la descripción y determinación de los parámetros de calidad de los fragmentos de roca y los suelos de acuerdo a un orden conveniente en el que, para cada parámetro, se indicará para qué material es aplicable según la capa estructural a formar o si, al ser aplicable a materiales de dos o más capas estructurales, algunos de ellos presentan variación en su determinación. En este último caso más bien se tratará por separado el parámetro en cuestión.

Para cada parámetro, la descripción tratará aspectos teóricos importantes, que permiten entender el fundamento del juicio de la calidad de los materiales para estructuración de carreteras.

La determinación, para ser ejecutada en el laboratorio, será dividida en lo siguiente:

1. El material y equipo, que incluye aquellas sustancias naturales o artificiales y aquellos accesorios manuales y dispositivos mecánicos o eléctricos necesarios para el tratamiento de las muestras de los materiales.
2. La preparación de la muestra, que se refiere a un tratamiento aplicado a las muestras para la reducción de su tamaño hasta el de un espécimen adecuado o en la manipulación para que adquieran condiciones ideales para ser ensayadas.
3. El procedimiento práctico, que es la manera en que la muestra será sometida a su ensayo particular, para conocer las variables numéricas de las que depende el parámetro en cuestión. Este depende del material y equipo necesarios y de la adecuada preparación de la muestra.
4. Los cálculos y resultado serán los procedimientos analíticos o gráficos y el valor numérico finalmente obtenido, siendo éste último el resultado de la determinación y que permitirá establecer el juicio de la calidad del material en estudio.

Considerando lo anterior, a continuación se trata la descripción y determinación de los parámetros de calidad de los fragmentos de roca y los suelos, correspondiendo a los fragmentos de roca sólo el primero de ellos.

### 1. LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

#### 1.1. LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA EN LOS FRAGMENTOS DE ROCA

##### a. DESCRIPCIÓN

En los fragmentos de roca, la composición granulométrica se refiere a la separación de los fragmentos según sean grandes, medianos y chicos, es decir, si sus tamaños son de 75 cm a 2 m, de 20 cm a 75 cm y de 7.6 cm a 20 cm, respectivamente. También incluye la separación de la cantidad de suelo que puedan contener.

La composición granulométrica permite clasificar los fragmentos de roca de acuerdo a lo indicado en la tabla 2.1 del capítulo II, de donde se asigna al material un símbolo de identificación, que depende del tamaño y combinación de los fragmentos y de si, combinados o no, se encuentran acompañados por cierta cantidad de suelo.

Evidentemente las rocas poseen mayor calidad resistente que cualquier tipo de suelo destinado a las carreteras; por esto, los fragmentos de roca no requieren mayor estudio de calidad.

##### b. DETERMINACIÓN

En este caso, la determinación de la composición granulométrica consiste en la separación manual de los fragmentos que integran la muestra, según sean grandes, medianos y chicos. Para esto, serán seleccionados los fragmentos de acuerdo a su dimensión mayor, para definir si el tamaño queda comprendido entre 75 cm y 2 m, entre 20 cm y 75 cm o entre 7.6 cm y 20 cm.

Agrupados los fragmentos de acuerdo a estos rangos de tamaños, será estimado el volumen de cada grupo, para su conversión a porcentaje respecto del volumen de la muestra.

El resultado de la composición granulométrica será los porcentajes estimados de los grupos de fragmentos, es decir, porcentajes de tamaños grandes, medianos y chicos. Con ellos se estará en condiciones de clasificar al material como lo indica la tabla 2.1 del capítulo II, pero tomando en cuenta el porcentaje de suelo que casi siempre acompañan a estos materiales.

#### 1.2. LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA EN LOS SUELOS

##### a. DESCRIPCIÓN

Aquí, la composición granulométrica se define como la distribución natural o artificial de los tamaños de las partículas de un suelo.

Conocer la distribución del tamaño de las partículas de los suelos es importante por dos razones principales:

En primer lugar, siempre será necesario identificar los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ( SUCS ), lo que permitirá conocer la calidad en función del tamaño y la graduación de sus partículas. Para esto, el suelo en estudio adoptará un símbolo por nombre y la graduación de sus partículas quedará definida por el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ). Estos coeficientes permiten conocer la calidad considerando que los suelos bien graduados (los de amplia variación en el tamaño de sus partículas) son de comportamiento mecánico más favorable que los suelos mal graduados (los de partículas que tienden a ser de igual tamaño). Con relación a esto, el SUCS considera a los suelos con partículas muy uniformes o mal graduados si poseen

coeficiente de uniformidad menor que 3 y con amplia variación en el tamaño de sus partículas o bien graduados si poseen coeficiente de curvatura de 1 a 3.

La segunda razón para definir la distribución del tamaño de las partículas de un suelo tiene que ver con la facilidad que éstas presentan a la compactación. En este sentido es que la composición granulométrica desempeña una función determinante en la calidad del material, debido a que la mayor estabilidad de un suelo se logra cuando sus espacios inter granulares se hacen mínimos al aplicarle cargas de compactación. Por esto, un material sin una secuencia correcta en el tamaño de sus partículas, difícilmente podrá adquirir una compactación aceptable.

La composición granulométrica de un suelo se obtiene mediante un conjunto de mallas de la serie USA Standard, en el que se hace cribar una porción de suelo, para obtener por resultado una gráfica llamada curva granulométrica, que indicará la calidad del material en el sentido del buen acomodo de sus partículas por compactación.

La composición granulométrica será aplicada a suelos de cualquiera de las capas estructurales de la carretera.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza de 5 Kg.
- Balanza de 2 Kg.
- Charolas de lámina.
- Cucharón de lámina.
- Horno a 105 °C.
- Cepillo de alambre delgado.
- Desecador de cristal.
- Mallas 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.
- Tapa y fondo para el juego de mallas.
- Vaso de aluminio de 1 l.
- Agitador metálico con 6 mm de diámetro y 20 cm de longitud.
- Agitador mecánico Ro-Tap.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de suelo se toma aproximadamente 15000 g de material y se registra este peso como  $W_m$ .

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se divide la porción con peso  $W_m$  utilizando la malla 4.75 y a la fracción retenida como a la que pasa se le registrará su peso como  $W_{m1}$  y  $W_{m2}$ , respectivamente. En lo siguiente llamaremos a la primera fracción gruesa y a la segunda fracción fina.
- Como la composición granulométrica se obtiene a partir de muestras de suelo secas, para la fracción fina se obtendrá el contenido de agua  $w_2$ , mediante la parte 1 del apéndice, a fin de transformar el peso  $W_{m2}$  a un peso  $W_{m2}'$ , siendo este último el peso de la fracción fina totalmente seca. La fracción gruesa se considera totalmente seca, por lo que no es necesario obtener su contenido de agua  $w_1$ .
- Se criba la fracción gruesa por las mallas 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75, se pesa la fracción retenida en cada una de ellas y se registran los pesos formando una columna  $W_i$ .
- Se obtiene de la fracción fina una porción cuyo peso sea  $W_h = 200 + 0.02 w_2$ , que será equivalente a 200 g de material totalmente seco y en donde  $w_2$  es el contenido de agua de la fracción fina, en %.
- Se dejará en saturación por 2 h la porción con peso  $W_h$ , para su posterior lavado mediante la malla 0.075, que eliminará las partículas finas.
- Lavada la porción anterior, será secada totalmente durante 16 h y a 105 °C.
- Se hace cribar la porción lavada y totalmente seca por las mallas 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075, se pesa la fracción retenida en cada una de ellas y se registran los pesos formando una columna  $W_j$ .

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Será calculado el peso  $W_m'$  de la porción original totalmente seca como:

$$W_m' = W_{m1} + W_{m2}' , \text{ siendo } W_{m2}' = \frac{W_{m2}}{\left(1 + \frac{w_2}{100}\right)}$$

En donde:

$W_m'$  es el peso de la porción original seca, en g.

$W_{m1}$  es el peso de la fracción gruesa, considerada seca, en g.

$W_{m2}'$  es el peso de la fracción fina seca, en g.

$W_{m2}$  es el peso de la fracción fina con su contenido de agua natural, en g.

$w_2$  es el contenido de agua de la fracción fina, en %.

- Se anotará abajo del último peso de la columna  $W_i$  el peso  $W_{m2}'$  de la fracción fina seca que pasa la malla 4.75 y obtendremos, como suma de toda la columna, el peso  $W_m'$  de la porción original seca.
- Respecto del peso  $W_m'$  se calcula el porcentaje de cada peso de la columna  $W_i$  y se registran al lado formando otra columna i. La suma de estos porcentajes se anotará al final de la columna y será igual a 100 %.
- Se calculan los porcentajes de las fracciones que pasaron las mallas 75.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75. Para esto se harán sustracciones sucesivas, partiendo del 100 % que representa el peso de la porción original seca y siendo los porcentajes sucesivos a restar los correspondientes a los retenidos en las citadas mallas y que se registraron formando la columna i. Los porcentajes de las fracciones que pasaron serán registrados formando una columna k junto a la columna i.
- Se anota al final de la columna  $W_j$  el peso de la fracción que pasa la malla 0.075, que se obtendrá restando a los 200 g de la fracción fina seca la suma de los pesos  $W_j$ . Luego serán sumados los pesos de la columna  $W_j$  y el total, que será igual 200 g, se anotará como último dato de dicha columna.
- Respecto del peso  $W_{m2}'$  se calcula el porcentaje de cada peso de la columna  $W_j$  y se registran formando otra columna j. El cálculo consiste en dividir cada peso entre los 200 g y multiplicar el resultado por el porcentaje que representa  $W_{m2}'$  respecto de  $W_m'$ . La suma de los porcentajes j se anotará al final de la columna.
- Se calculan los porcentajes de las fracciones que pasaron las mallas 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075. Para esto se harán sustracciones sucesivas, partiendo del porcentaje que representa  $W_{m2}'$  respecto de  $W_m'$  y siendo los porcentajes sucesivos a restar los correspondientes a los retenidos en las citadas mallas y que fueron anotados en la columna j. Los porcentajes de las fracciones que pasaron formaran una columna l, al lado de la columna j.
- Finalmente, conocidos los porcentajes de las fracciones que pasan las mallas, desde la 75.0 hasta la 0.075, o sea, los porcentajes k y l, se graficará la curva de la composición granulométrica del suelo en estudio. Las ordenadas, a escala aritmética, serán los porcentajes de las fracciones que pasan las mallas y las abscisas, a escala logarítmica, serán las aberturas de las mallas, en mm.
- Para clasificar el material, deberá calcularse los coeficientes  $C_u$  y  $C_c$ , empleando las siguientes fórmulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

En donde:

$C_u$  es el coeficiente de uniformidad, adimensional.

$C_c$  es el coeficiente de curvatura, adimensional.

$D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  son las aberturas de las mallas, correspondientes al 10, 30 y 60 % del material que pasa (según la curva granulométrica obtenida), en mm.

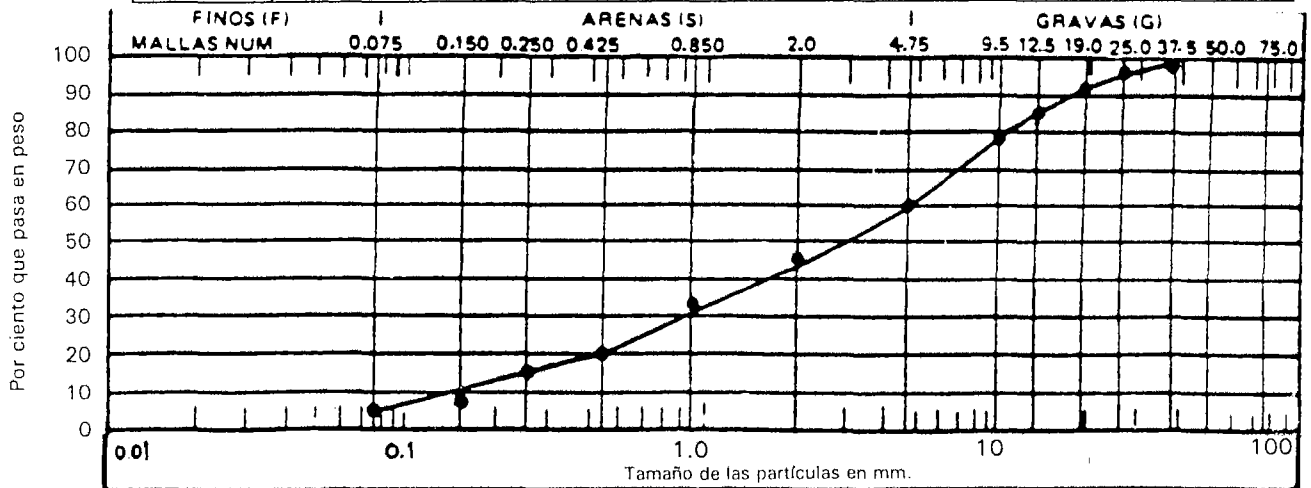
PESOS: DE LA PORCIÓN :  $W_m$  15290 g  
 DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA NUM. 4.75  $W_{m1}$ : 5850 g  
 DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA  $W_{m2}$ : 9440 g

CONTENIDO DE AGUA $w_z$	6.5%
-------------------------	------

CORRECCION DEL PESO TOTAL DE LA MUESTRA POR HUMEDAD  
 DE LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA 4.75

$$W_{m2}^1 = \frac{W_{m2}}{1 + \left(\frac{w_z}{100}\right)} = \frac{9440}{1 + 0.065} = 8864 \text{ g} \Rightarrow W_m^1 = W_{m1} + W_{m2}^1 = 5850 + 8864 = 14714 \text{ g}$$

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA 4.75				MATERIAL QUE PASA LA MALLA 4.75			
Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa	Malla	Peso retenido	Retenido parcial	Material que pasa
	$W_i$ (g)	$i$ (g)	$k$ (g)		$W_i$ (g)	$i$ (g)	$k$ (g)
75.0				2.0	54.0	16.2	44.0
50.0				0.850	39.0	11.7	32.3
37.5	157	1.1	98.9	0.425	40.4	12.2	20.1
25.0	395	2.1	96.2	0.250	17.80	5.4	14.7
19.0	563	3.8	92.4	0.150	19.50	5.9	8.8
12.5	1179	8.0	84.4	0.075	13.70	4.1	4.7
9.5	646	4.4	80.0	Pasa 0.075	15.60	4.7	
4.75	2910	19.8	60.2	SUMA	200.00	60.2	
Pasa 4.75	8864	60.2					
SUMA	14714	100.00					



$$D_{10} = \frac{0.17}{0.1} = 0.17 \quad D_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{4.75}{0.1} = 47.5 \quad \text{Retenido en Núm. 75.0} = 0.0\%$$

$$D_{30} = \frac{0.80}{0.1} = 0.80 \quad D_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}} = \frac{0.64}{0.84} = 0.79 \quad G = 39.8\%$$

$$D_{60} = \frac{4.75}{0.1} = 4.75 \quad \text{Pasa a } 0.425 = 20.1\% \quad S = 55.5\%$$

$$F = 4.7\%$$

CLASIFICACION DEL SUELO: Arena mal graduada (SP)

FIGURA 5.1  
 CÁLCULOS Y RESULTADO DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

## 2. EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS FINAS

### a. DESCRIPCIÓN

El contenido de partículas finas es la cantidad de partículas inferiores a 0.075 mm presentes en un suelo.

Por su naturaleza fisicoquímica, las partículas finas propician la baja resistencia del suelo que las contiene, porque están asociadas a fenómenos de compresibilidad, permeabilidad, expansión y contracción, entre otros.

La compresibilidad es el asentamiento que experimenta un suelo saturado y de elevado contenido de partículas finas debido a la aplicación de carga superficial, la cual provoca disminución volumétrica en la dirección vertical. La disminución de volumen tiene lugar porque los esfuerzos desarrollados al interior del suelo desplazan el agua existente en los espacios inter granulares, lo que produce reacomodo de las partículas en el sentido del plano vertical.



La permeabilidad es, en términos simples, la velocidad de escurrimiento que desarrolla el agua cuando circula por los conductos inter granulares del suelo. Y un suelo permeable, por lo tanto, retendrá mayor agua en sus espacios inter granulares. Y es que, a mayor contenido de partícula finas, el suelo tiende a ser menos permeable, o sea, retiene mayor cantidad de agua por más tiempo.

La expansión y contracción corresponden, respectivamente, al aumento y disminución que el volumen de un suelo manifiesta cuando contiene cantidades elevadas de partícula finas. Este aumento y disminución de volumen, al presentarse en alguna parte de la estructura de la carretera, traerá consigo deformaciones que pueden causar fallas estructurales.

El contenido de partículas finas se obtiene pesando una porción de suelo, a la que se le separa la fracción fina mediante la malla 0.075, para ser pesada nuevamente. El resultado será la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la porción, expresado en porcentaje respecto del peso inicial.

El contenido de partículas finas se obtendrá en los suelos para el terraplén, la subrasante, la subbase y la base.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza de 20 Kg.
- Charola de lámina.
- Cucharón de lámina
- Horno a 105 °C.
- Recipiente provisto de vertedero
- Malla 0.075.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de suelo se toma 1500 g y se registra su peso como  $W_m$ .

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se eliminarán las partículas finas, lavando la porción con peso  $W_m$  a través la malla 0.075.
- Se somete a secado total la porción lavada, procurando una temperatura de 105 °C.
- Se obtiene el peso de la porción lavada y seca y se registra como  $W_m'$ .

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO.

El contenido de partículas finas será calculado como:

$$F = \left( \frac{W_m - W_m'}{W_m} \right) 100$$

En donde:

F es el contenido de partículas finas, en %.

$W_m$  es el peso de la porción de suelo antes del lavado, en g.

$W_m'$  es el peso de la porción de suelo posterior al lavado y secado, en g.

## 3. EL LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE PLÁSTICO

### a. DESCRIPCIÓN

Dependiendo de la cantidad de partículas finas y de agua contenidas en un momento dado, los suelos adquieren una propiedad llamada plasticidad, la cual les permite deformarse sin experimentar agrietamientos y cambios volumétricos apreciables cuando son sometidos a esfuerzos de trabajo momentáneos.

La plasticidad se debe a fenómenos electroquímicos, que producen interacción entre las partículas finas de un suelo. Esta interacción es favorecida por la formación de una película de agua viscosa en la superficie de cada partícula, que produce ligamiento entre ellas cuando son sometidas a deformación apreciable.

Los suelos con propiedad plástica manifiestan diferentes estados de consistencia cuando su elevado contenido de agua va disminuyendo y finalmente desaparece, es decir, durante el tiempo de secado paulatino presentarán progresivamente los siguientes estados de consistencia:

Estado líquido: Es el que adquiere un suelo cuando se comporta como una suspensión.

Estado semilíquido: Es el que adquiere un suelo cuando se comporta como un fluido viscoso.

Estado plástico: Es el que presenta un suelo cuando ha adquirido la propiedad de plasticidad.

Estado semisólido: Es el que adquiere un suelo al comportarse como un sólido, pero que admite reducción volumétrica apreciable cuando aún se puede disminuir su contenido de agua.

Estado sólido: Es el que presenta un suelo cuando su contenido de agua desaparece por secado total y, por lo tanto, no manifiesta variación volumétrica al ser sometido a secado posterior.



## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Será cribada una muestra de suelo por la malla 0.425 y de la fracción que pasa se tomará 200 g.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será dejada en saturación, por 24 h, la fracción de 200 g de material que pasó la malla 0.425.
- De la fracción saturada anterior, se toma 150 g y se extiende en la copa del dispositivo de Casagrande, hasta alcanzar un espesor central de entre 8 y 10 mm.
- Con el ranurador especial, se hace una ranura en el centro del material extendido en la copa, procurando la separación total de la porción extendida.
  - Se hace golpear la copa del dispositivo contra su base a razón de 2 golpes/seg, hasta que la ranura cierre parcialmente y toquen entre sí sus bordes inferiores en un tramo de 13 mm. Es importante registrar como N el número de golpes que la copa da a su base y que son necesarios para lograr el contacto del material a lo largo de 13 mm.
- De inmediato se toma del centro de la porción en la copa 10 g de material, para la determinación de su contenido de agua w, de acuerdo a la parte 1 del apéndice.
- Se repiten las operaciones anteriores para obtener cuatro valores de números de golpes N y contenidos de agua w. Para esto es necesario variar en cada caso el contenido de agua de la porción a extenderse en la copa, para que en los dos primeros casos se obtengan números de golpes N que oscilen entre 10 y 25 y en los dos casos restantes que oscilen entre 25 y 35.

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se grafican los cuatro valores de números de golpes N y los respectivos contenidos de agua w, representando los primeros a las abscisas en escala logarítmica y los segundos a las ordenadas en escala aritmética. Definidos los cuatro puntos, se traza una recta que pase lo más cerca posible de cuando menos tres de ellos y así se obtendrá la recta de fluidez del suelo en estudio.
- De la recta de fluidez, el límite líquido se obtendrá localizando en el eje de las ordenadas el contenido de agua w correspondiente al número de golpes N con valor 25. Este contenido de agua, en %, será el límite líquido y deberá registrarse como LL.

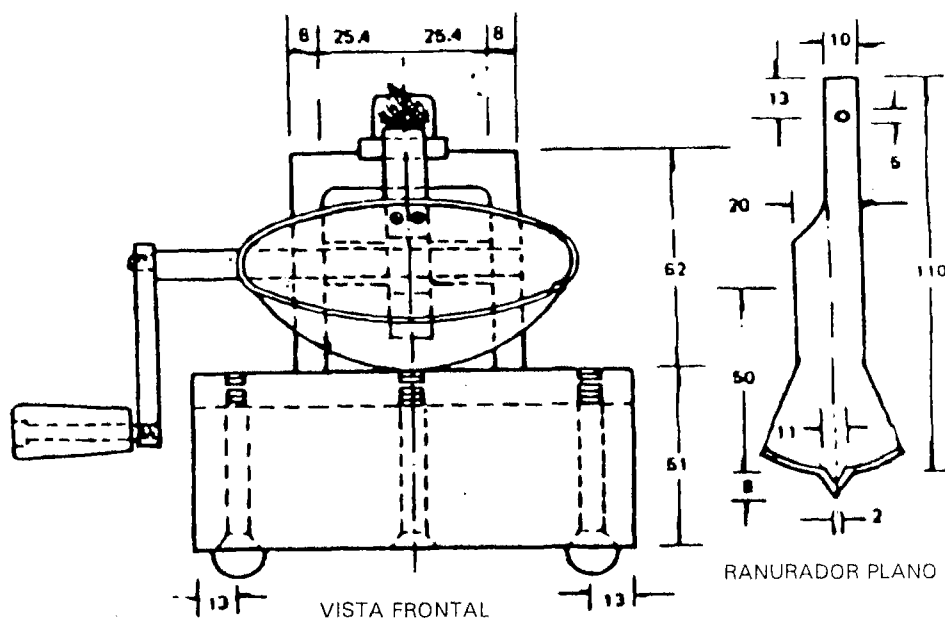


FIGURA 5.3  
DISPOSITIVO DE CASAGRANDE PARA OBTENER EL LÍMITE LÍQUIDO

Falla de origen  
Faltan las páginas  
57 y 58

cada ocasión, de tal manera que se obtendrá el mayor peso volumétrico para cierto contenido de agua total. A este contenido de agua, que produce el máximo peso volumétrico del suelo y provoca la mayor reducción de los espacios inter granulares, se le conoce como humedad óptima y al peso volumétrico máximo adquirido por el suelo seco se le llama peso volumétrico seco máximo.

El peso volumétrico seco máximo rige la calidad por compactación del suelo en la obra. Especialmente, cuando en el laboratorio sea definida la mayor calidad en este sentido, será sometida una muestra a la llamada compactación AASHTO estándar y, con el peso volumétrico seco máximo obtenido de ella, se establecerá el grado de compactación AASHTO estándar, que indicará, mediante la fórmula siguiente, cuánto debe ser compactado el material para el terraplén y la subrasante:

$$G_{AE} = \left( \frac{\gamma_{do}}{\gamma_{dmax}} \right) 100$$

En donde:

$G_{AE}$  es el grado de compactación AASHTO estándar.

$\gamma_{do}$  es el peso volumétrico que mejora la calidad del suelo al ser compactado en la obra, en Kg / cm<sup>3</sup>.

$\gamma_{dmax}$  es el peso volumétrico seco máximo del suelo, obtenido por compactación AASHTO estándar, en Kg / cm<sup>3</sup>.

De acuerdo a la fórmula anterior, el grado de compactación AASHTO estándar establece que el suelo en estudio debe ser capaz de adquirir, mediante compactación en la obra, un peso volumétrico que será equivalente a cierto porcentaje de su peso volumétrico seco máximo obtenido en el laboratorio.

## b. DETERMINACIÓN

Para determinar el grado de compactación AASHTO estándar, se requiere obtener el peso volumétrico seco máximo de la manera siguiente:

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Molde cilíndrico, con diámetro de 101.6 mm y altura de 116.4 mm. Estará provisto de una placa metálica, que será su base, y de una extensión o collarín con diámetro igual al del cilindro pero con altura de 60.3 mm. Figura 5.5.
- Molde cilíndrico, con diámetro de 152.4 mm y altura de 116.4 mm. Figura 5.5.
- Pisón metálico, con peso igual a 2.5 Kg y superficie de apisonado de 50.8 mm de diámetro.
- Regla metálica, con 25 cm de longitud y de aristas cortantes.
- Balanza de 15 Kg.
- Balanza de 2 Kg.
- Horno a 105 °C.
- Probeta graduada, de 500 cm<sup>3</sup>.
- Mallas 19.0 y 4.75.
- Cápsula metálica, con tapa.
- Charolas de lámina, rectangulares.
- Aceite industrial común.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De acuerdo a las alternativas siguientes, que especifican el tipo de suelo y cilindro empleados, de una muestra de suelo se tomará una porción de prueba de 4 Kg para el caso de la primera o segunda alternativa y de 8 Kg para el caso de la tercera o cuarta alternativa.
  - 1ª alternativa: Suelos que pasan totalmente la malla 4.75 y hayan de ser compactados en el cilindro de 101.6 cm de diámetro.
  - 2ª alternativa: Suelos que pasan totalmente la malla 4.75 y hayan de ser compactados en el cilindro de 152.4 cm de diámetro.
  - 3ª alternativa: Suelos con fracción retenida en la malla 4.75 y su fracción que pasa la malla 19.0 haya de ser compactada en el cilindro de 101.6 cm de diámetro.
  - 4ª alternativa: Suelos con fracción retenida en la malla 4.75 y su fracción que pasa la malla 19.0 haya de ser compactada en el cilindro de 152.4 cm de diámetro.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Para cualquier fracción de prueba, se agregará agua para que su humedad sea algo inferior a la óptima que a priori se estime.
- Para la primera o segunda alternativa, se cribará la porción humedecida por la malla 4.75 y para la tercera o cuarta alternativa el cribado se hará por la malla 19.0.
- Cribada la porción de prueba, se juntará nuevamente para su división en tres partes iguales y su posterior compactación.
- Cualquiera que sea el cilindro seleccionado, se obtendrá su peso y se registrará como  $W_i$ , en g.

- Para la primera o tercera alternativa, cada una de las tres partes de la porción de prueba será compactada en el cilindro elegido aplicando 25 golpes de pisón en toda el área transversal y, para la segunda o cuarta alternativa, la compactación de cada parte se hará aplicando 56 golpes de pisón. Para cualquier caso, el pisón se dejará caer libremente desde 30.5 cm.
- Si la porción compactada rebasa la altura del cilindro en 1.5 cm sobre el collarín de éste, se repetirá la compactación utilizando otra porción de prueba. Si el cilindro queda rebozado por la porción compactada menos de 1.5 cm por encima de su borde superior, se enrasará el sobrante del material y se pesará el cilindro con todo el espécimen compactado para registrar el peso como  $W_i$ , en g.
- Extraído el espécimen del cilindro, se le corta longitudinalmente para obtener una porción de su centro y con ella determinar el contenido de agua  $w$ , de acuerdo a la parte 1 del apéndice.
- Repitiendo la secuencia anterior, se obtendrá otros tres valores  $W_i$  y  $w$ , utilizando la misma porción de prueba original. Para esto es necesario disgregar el espécimen en cada caso y juntarlo con la cantidad enrasada y con la extraída para la obtención del contenido de agua. También es necesario que el agua agregada en cada obtención sea un poco mayor a la agregada en cada obtención anterior, pero que a la vez, en la segunda obtención, la cantidad de agua agregada sea mayor que en la primera y que, en la tercera obtención, la cantidad de agua agregada sea mayor que en la cuarta, quedando así esta última completamente humedecida. Todo esto se podrá controlar a partir del peso  $W_i$  de cada obtención anterior.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para cada espécimen compactado a distinta humedad, se calculará el peso volumétrico de la porción de prueba húmeda como:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_i - W_t}{V} \right) 1000$$

En donde:

$\gamma_m$  es el peso volumétrico de la porción de prueba húmeda, en Kg / cm<sup>3</sup>.

$W_i$  es el peso del cilindro con el espécimen compactado, en g.

$W_t$  es el peso del cilindro, en g.

$V$  es el volumen del espécimen, obtenido con las dimensiones interiores del cilindro, en cm<sup>3</sup>.

- Para cada espécimen compactado a distinta humedad, se calcula el peso volumétrico de la porción de prueba seca, como:

$$\gamma_d = \left( \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w}{100}} \right)$$

En donde:

$\gamma_d$  es el peso volumétrico de la porción de prueba seca, en Kg / cm<sup>3</sup>.

$\gamma_m$  es el peso volumétrico de la porción de prueba húmeda, en Kg / cm<sup>3</sup>.

$w$  es el contenido de agua de la porción de prueba, en %.

- Con los cuatro pares de valores  $\gamma_d$  y  $w$  obtenidos, a escala aritmética se traza una curva que tenga por ordenadas los pesos volumétricos secos  $\gamma_d$  y por abscisas los contenidos de agua  $w$ . El punto de mayor curvatura definirá, en las ordenadas, el peso volumétrico seco máximo  $\gamma_{d\text{máx}}$  y, en las abscisas, la humedad óptima  $w_0$  (figura 5.6).

Finalmente, la compactación que el material debe satisfacer en la obra será establecida por el grado de compactación AASHTO estándar mediante la fórmula:

$$GAE = \left( \frac{\gamma_{do}}{\gamma_{d\text{máx}}} \right) 100$$

En donde:

$GAE$  es el grado de compactación AASHTO estándar, en %.

$\gamma_{do}$  es el peso volumétrico que mejora la calidad del suelo al ser compactado en la obra, en Kg/cm<sup>3</sup>.

$\gamma_{d\text{máx}}$  es el peso volumétrico seco máximo del suelo, obtenido por compactación AASHTO estándar, en Kg/cm<sup>3</sup>.

Falla de origen  
Faltan las páginas  
61 y 62

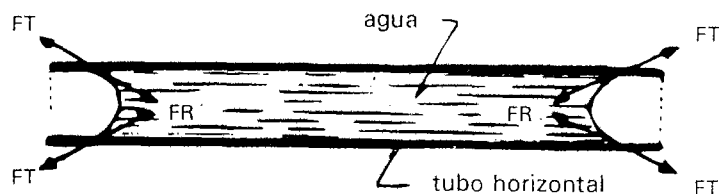


FIGURA 5.8  
FUERZAS DENTRO DE UN TUBO CAPILAR HORIZONTAL.

Como las fuerzas FT son debidas a la tensión capilar, y ésta se desarrolla de manera constante en toda la longitud horizontal del tubo afectada por el agua, las fuerzas de reacción FR, por lo tanto, también actuarán a lo largo de dicha longitud y afectarán las paredes del tubo. Así, si el tubo fuera de un material compresible, realmente experimentaría una reducción tanto de su longitud como de su sección transversal.

Lo que a un suelo le sucede cuando se contrae es exactamente el mecanismo anterior, y esto es posible porque todos los espacios entre sus partículas, al estar interconectados, forman conductos capilares cuando son afectados por el agua. De esta manera, conforme el agua se va evaporando, se originan meniscos en los espacios inter granulares, los que a su vez, en un momento dado, adquieren la curvatura máxima para la cual se tienen máximos esfuerzos de tensión capilares y, en consecuencia, máximas fuerzas de tensión a lo largo de los conductos capilares. Peño como aquí las paredes de los conductos capilares son las partículas del suelo, son éstas las que no soportan las fuerzas de reacción que se oponen a las de tensión, lo que inevitablemente provoca que todas las partículas se junten entre sí y se produzca de esta manera una reducción volumétrica de la masa del suelo. Es esta reducción volumétrica la que se conoce como contracción.

La contracción es capaz de producir serios agrietamientos en la estructura de los suelos, y por ello sus efectos han de ser simulados en el laboratorio al seleccionar los materiales para la subbase, la base o la carpeta asfáltica. La simulación se logra mediante la elaboración de un espécimen de 2 x 2 x 10 cm, cuyo contenido de agua sea el equivalente al límite líquido. Así, la disminución de volumen que, en su dimensión mayor, experimenta este espécimen después de ser sometido a secado total, definirá la contracción del suelo, que se obtiene como la relación en porcentaje entre la longitud del espécimen totalmente seco y la longitud del mismo pero conteniendo la humedad del límite líquido. Esta contracción es conocida como contracción lineal, pues su obtención toma en cuenta una sola dimensión del espécimen seco.

Con la contracción lineal se obtendrá información acerca del comportamiento que los suelos pueden tener ante los efectos capitales del agua, efectos que provocan agrietamientos y reducción de volumen.

Dependiendo de su valor, la contracción lineal indicará si los suelos pueden desarrollar agrietamientos cuando sean parte de la subbase, la base o la carpeta asfáltica.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Cápsula de porcelana, con diámetro de 12 cm.
- Espátula de acero flexible, con punta redonda de 2 cm de ancho.
- Molde de lámina galvanizada calibre 16.
- Calibrador Máuser.
- Grasa grafitada.
- Horno a 105 °C.
- Dispositivo de Casagrande.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de suelo se toma 200 g, para determinar el límite líquido de acuerdo a la parte 3.b de este capítulo.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Con la porción anterior, humedecida hasta su límite líquido, se llenará el molde de 2 x 2 x 10 cm en tres capas, procurando la expulsión del aire contenido en el material.
- Será secado el material del molde durante 18 h, a 105 °C.
- Se dejará enfriar el espécimen para ser extraído del molde.



- En tres sitios diferentes se mide la longitud del espécimen seco y se mide la longitud interior del molde. Al promedio de las tres longitudes del espécimen seco se registrará como  $L_r$  y la longitud del molde, que es la del espécimen con su límite líquido, se registrará como  $L_i$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La contracción lineal se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$C_L = \left( \frac{L_i - L_r}{L_i} \right) 100$$

En donde:

$C_L$  es la contracción lineal del suelo, en %

$L_i$  es la longitud interior del molde, o sea, la longitud del espécimen húmedo, en cm.

$L_r$  es la longitud promedio del espécimen seco, en cm.

### 7. LA RELACIÓN DE SOPORTE CALIFORNIA Y LA EXPANSIÓN

#### a. DESCRIPCIÓN

La relación de soporte California, conocida también como CBR por su abreviatura en inglés (California Bearing Ratio), es un índice que mide la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos cuando registran la compactación más favorable, o sea, cuando registran su peso volumétrico seco máximo para la humedad óptima. En este caso dicha resistencia se relaciona con la penetración que soporta el material compactado cuando, a través de un vástago o pistón, se le aplica una carga, la cual ha de ser referenciada a otra carga prototipo.

La relación de soporte California se obtiene haciendo penetrar un pistón en dos especímenes de suelo, de los que uno es seco y el otro es saturado. La penetración se hace con una máquina de compresión, a razón de 1.27 mm/min, y durante ella se toman las lecturas de las cargas que producen las penetraciones de 1.27, 2.54, 3.81, 5.08 y 7.60 mm. El valor de la relación de soporte California será el porcentaje que representa la carga que produce la penetración de 2.54 mm respecto de la carga de 1360 Kg. Esta última carga es la que produce la misma penetración del pistón, pero para un material prototipo que, desde un principio, se estableció que fuera cierta grava producto de trituración.

La relación de soporte California permite conocer la calidad de un suelo en función de la resistencia de un material de máxima calidad, como lo es una grava de roca triturada. Por lo tanto, valores mayores de CBR indicarán que los suelos son cada vez más resistentes en condiciones de compactación y también que la calidad de ellos tiende a ser más cercana a la calidad de las gravas. Por el contrario, valores bajos de CBR, como por ejemplo 5%, indicarán que los suelos poseen capacidad de soporte baja en condiciones de compactación.

La relación de soporte California se aplicará a la calidad de los suelos para el terraplén, la subrasante, la subbase o la base.

La expansión es el aumento relativo de volumen que experimentan los suelos con cierto contenido de partículas finas, como consecuencia del lento almacenamiento de agua en sus espacios inter granulares, especialmente después de experimentar compresibilidad, compactación o contracción.

El mecanismo que rige a la expansión es mucho más complicado que el que rige a la contracción, pese a que ambos fenómenos parecen ser físicamente inversos. No obstante, en síntesis podemos decir que en la expansión intervienen fenómenos tales como la recuperación elástica de las partículas finas, la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica que se produce entre partículas, la presión neutral del agua y, en menor medida, la presión del aire atrapado dentro de los espacios inter granulares.

La expansión es altamente peligrosa porque produce deformación en los suelos. Y es que, a diferencia de la contracción, la expansión se vuelve nociva cuanto mayor es el peso volumétrico del suelo y menos favorables son las condiciones de drenaje del mismo.

La expansión se aplicará a suelos para el terraplén o la subrasante, y su obtención será a partir del espécimen compactado en la determinación de la relación de soporte California. La obtención consistirá en medir el incremento de volumen que, en el sentido longitudinal, experimenta el espécimen cuando se le deja en saturación durante un tiempo prolongado. El incremento de volumen queda definido por la diferencia entre la altura que el espécimen registra antes de la saturación y la que registra después de la misma. La expansión será, entonces, este incremento de altura, expresado en porcentaje respecto de la altura del espécimen antes de la saturación.

#### b. DETERMINACIÓN

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Hojas de papel filtro, con diámetro de 15.4 cm.
- Mallas 4.75 y 25.0.
- Extensómetro con su tripode. Figura 5.9.

- Dos placas circulares de carga, con diámetro de 15.4 cm y peso de 3 Kg, ambas con orificio central de 5.4 cm de diámetro.
- Placa metálica circular de 15.4 cm de diámetro, con perforaciones y un vástago central para apoyar el extensómetro.
- Cronómetro.
- Calibrador Máuser.
- Tanque de saturación, con altura de 30 cm.
- Máquina de compresión de 3 t.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De una muestra de suelo será cribada cierta cantidad por la malla 25.0 para que, por cuarteo, sea reducida hasta 1600 g.
- Mediante cribado de la porción de 1600 g, se comprobará que la fracción retenida en la malla 25.0 no sea mayor al 15 % del peso de dicha porción. Si así fuere, la fracción retenida será sustituida por otra de peso equivalente pero que pase la malla 25.0 y sea retenida en la malla 4.75, y con esta se obtendrá la porción de 1600 g pero compensada.
- Compensada o no, la porción de 1600 g será sometida a la compactación Porter, descrita en la parte 10 del apéndice, para formar un espécimen con humedad óptima, al que se medirá su altura y se registrará como  $H_e$ .

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Permaneciendo en el molde de compactación, al espécimen se le coloca encima papel filtro, la placa perforada y dos placas de carga y así se le somete a saturación total.
- Se instala el extensómetro en el trípode y se fija este al borde del molde procurando que el extensómetro apoye en el vástago de la placa perforada. Luego se toma la lectura del extensómetro y se registra como  $L_i$ .
- Se continúa la saturación del espécimen y cada 24 h se toman lecturas del extensómetro hasta que dos lecturas consecutivas sean idénticas. La última lectura, que ya no registra expansión del espécimen, será registrada como  $L_r$ .
- Conteniendo el espécimen sus dos placas de carga y el extensómetro, se le instala en la máquina de compresión, cuidando que el pistón de carga toque ligeramente la superficie del espécimen a través del orificio de las placas.
- Se aplica al espécimen una carga menor a 10 Kg y se mantiene ésta mientras se ajusta el extensómetro que medirá el desplazamiento vertical del pistón. Luego se aumenta la carga para que el pistón penetre a razón de 1.27 mm/min y a la vez se registran los valores de las cargas que producen las penetraciones de 1.27, 2.54, 3.81, 5.08 y 7.60 mm al minuto 1, 2, 3, 4 y 6, respectivamente, de las lecturas del extensómetro.
- Se retira el molde de la máquina de compresión y se extrae el espécimen para tomar una porción de su parte superior y con ella obtener, según lo indicado en la parte 1 del apéndice, su contenido de agua o humedad de prueba.

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se traza una curva carga-penetración, graficando aritméticamente la cargas en Kg y sus respectivas penetraciones en mm. Las primeras formarán ordenadas y las segundas abscisas.
- De la curva anterior, se obtiene la carga correspondiente a 2.54 mm de penetración, pero considerando cualquiera de las siguientes condiciones que pueden presentarse:
  - a). Si la curva resultante es semejante a la "tipo estándar" o "tipo común" de la figura 5.10, la carga correspondiente a 2.54 mm de penetración será la obtenida en la penetración del espécimen.
  - b). Si la curva obtenida es semejante a la "curva defectuosa" de la figura 5.10, el procedimiento práctico se considera mal ejecutado y deberá ser repetido para una nueva porción de suelo.
  - c). Si la curva resultante es semejante a la "tipo aceptable" de la misma figura, con concavidad invertida; entonces, por el punto de inversión de concavidad, se trazará una tangente hasta el eje de las abscisas y el punto de cruce será el nuevo origen a partir del cual será ubicado el nuevo valor de la penetración 2.54 mm. La ordenada de este valor desplazado será la carga correspondiente a la penetración 2.54 mm, que será registrada como C, en Kg. Figura 5.11.
- La relación de soporte California será calculada como:

$$CBR = \left( \frac{C_{2.54}}{1360} \right) 100$$

En donde:

CBR es la relación de soporte California, adimensional.

$C_{2.54}$  es la carga correspondiente a 2.54 mm de penetración, en Kg.

- La expansión del suelo se obtiene por la expresión:

$$E = \left( \frac{L_r - L_i}{H_e} \right) 100$$

En donde:

E es la expansión, en %.

$L_f$  es la lectura del extensómetro al finalizar la saturación del espécimen, en mm.  
 $L_i$  es la lectura del extensómetro al iniciar la saturación del espécimen, en mm.  
 $H_e$  es la altura del espécimen compactado antes de la saturación, en mm.

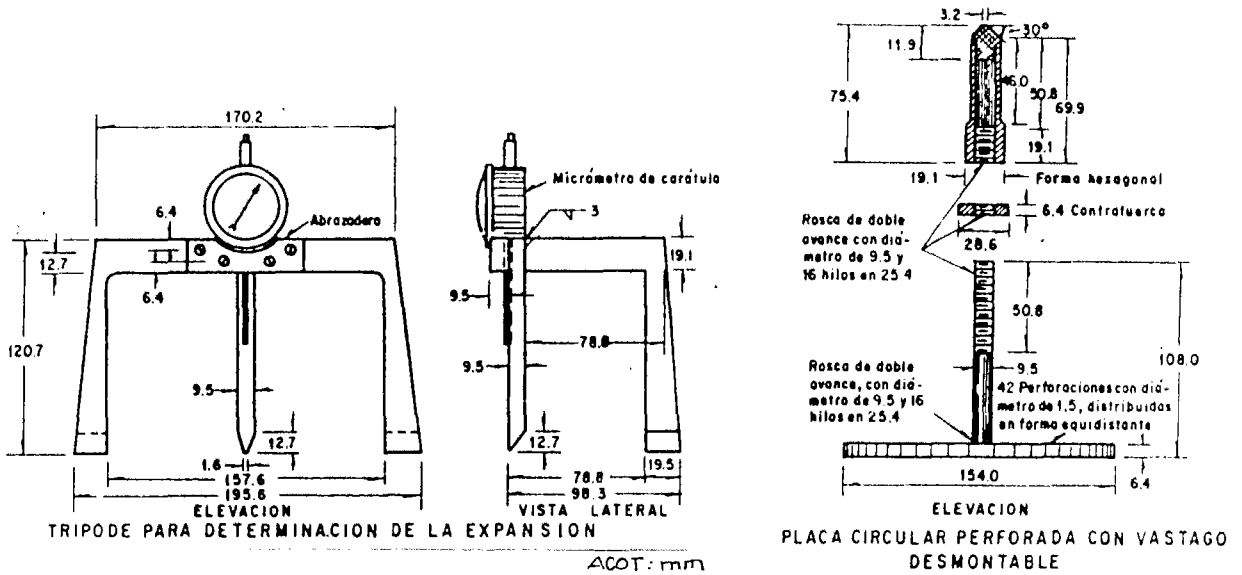


FIGURA 5.9  
 PLACA CIRCULAR PERFORADA, PLACAS CIRCULARES DE CARGA Y TRIPODE METÁLICO

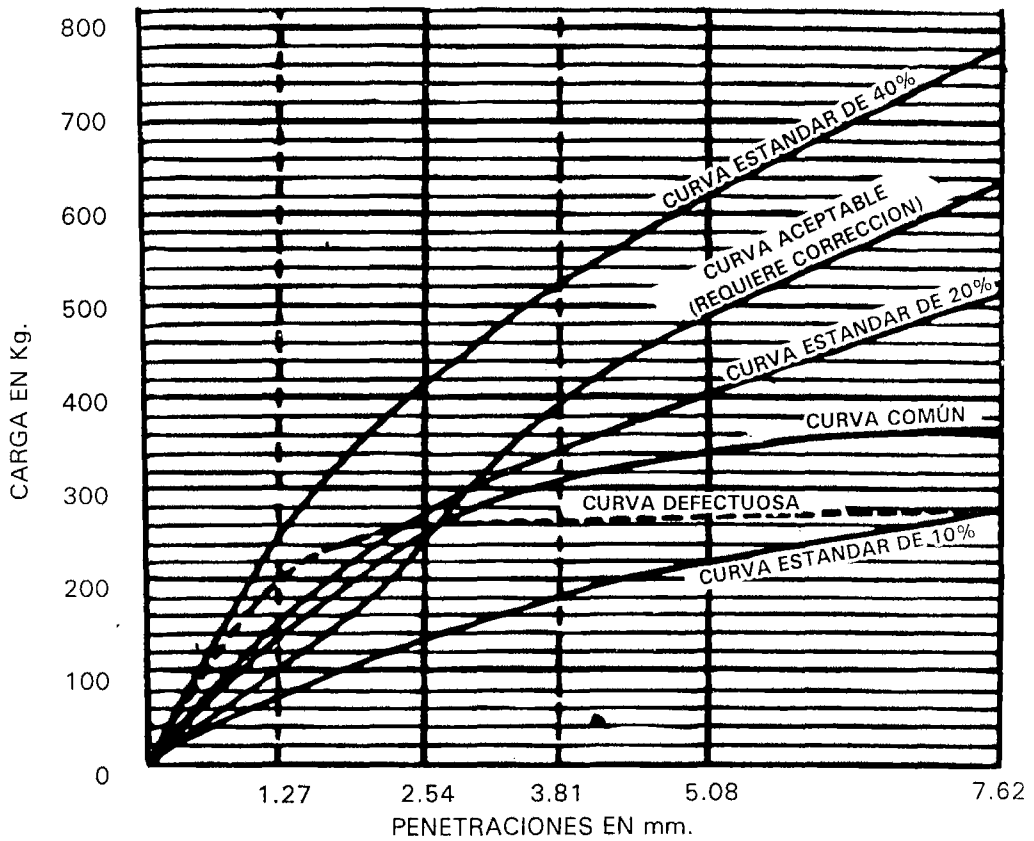


FIGURA 5.10  
 CURVAS CARGA-PENETRACIÓN

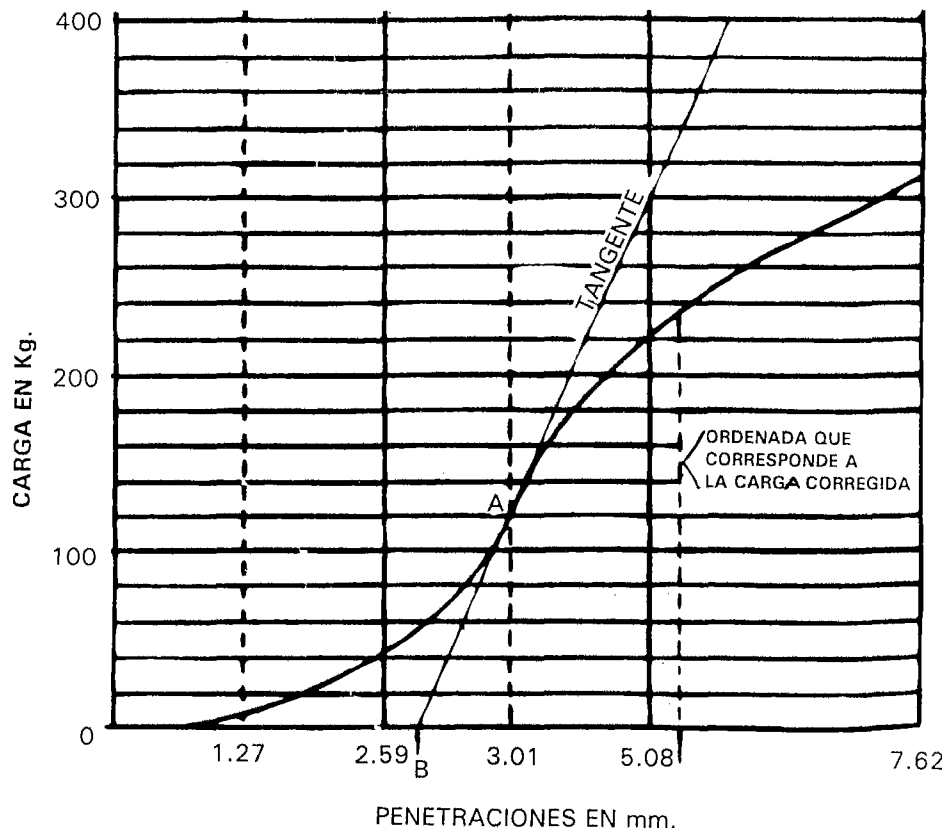


FIGURA 5.11  
CORRECCIÓN A LA CURVA CARGA-PENETRACIÓN

## 8. EL VALOR CEMENTANTE

### a. DESCRIPCIÓN

En los suelos, la cementación es la propiedad de sus partículas a ligarse entre sí, debido a ciertas características como la forma, el acomodo y la rugosidad existentes en ellas, además de la plasticidad y otros fenómenos relacionados a su composición química.

En general, la cementación es producida por las partículas finas del suelo y se puede afirmar que elevados valores de cementación indicarán mejores calidades del suelo pero también mayores contenidos de partículas finas, lo que no es recomendable para suelos que pretendan ser destinados a la subbase o base.

Dado que la cementación implica cierta resistencia de las partículas del suelo a la disgregación, su determinación en el laboratorio consiste en medir la resistencia a la compresión de un pequeño espécimen de suelo compactado y seco y esta resistencia a la compresión es lo que se conoce como valor cementante. Este espécimen de prueba incluirá sólo partículas de suelo menores a 4.75 mm, pues partículas mayores harían la compactación dificultosa.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

Tres moldes de lamina galvanizada calibre 12, de 101.6 mm de altura y sección cuadrada interior de 76.2 mm por lado. Cada molde deberá tener bisagras en dos aristas opuestas y una tendrá un pasador móvil que permita abrirlo.

- Placa de compactación con 75 mm por lado, 7.9 mm de espesor y provista de un vástago central cilíndrico. Figura 5.12
- Pisón metálico de 908 g y 19 mm de diámetro, con su guía que le permita caer desde 45 cm. Figura 5.12
- Balanza de 5 Kg.
- Malla 4.75.
- Probeta de 1000 cm<sup>3</sup>.
- Probeta de 100 cm<sup>3</sup>.
- Charolas rectangulares de lámina galvanizada.
- Cucharón de lámina galvanizada.
- Máquina de compresión de 1500 Kg.
- Horno a 105 °C.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra será tomada, por cuarteo, la porción necesaria para obtener 3 Kg de suelo que pase la malla 4.75.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Mediante la compactación Porter estándar de la parte 10 del apéndice, se prepara un espécimen con humedad óptima y de éste se extraerá una porción de 3 Kg.
- De la porción anterior se toma tres cantidades suficientes con igual peso y con ellas se llenan los tres moldes (una por cada molde). El llenado de cada molde se hará en tres capas iguales y cada una será compactada aplicando 15 golpes con el pisón de la placa de compactación. La caída libre del pisón será desde 45 cm.
- A 40 °C se dejarán secar los especímenes de los moldes, pero sólo lo suficiente para que sean extraídos sin que se dañen. Luego se continúan secando los especímenes a 105 °C y hasta peso constante.
- Extraídos los especímenes del horno, se dejarán enfriar hasta la temperatura ambiente.
- Se colocará debidamente cada espécimen en la máquina de compresión y se aplicará carga uniformemente lenta hasta el colapso. A la carga de ruptura de cada espécimen se registrará como P.

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El valor cementante de cada espécimen será la resistencia a la compresión sin confinar, que se obtiene dividiendo la carga de colapso entre el área de la sección transversal del espécimen, o sea:

$$V_c = \frac{P}{A}$$

En donde:

$V_c$  es el valor cementante, en Kg / cm<sup>2</sup>.

P es la carga de colapso, en Kg.

A es el área de la sección transversal del espécimen, en cm<sup>2</sup>.

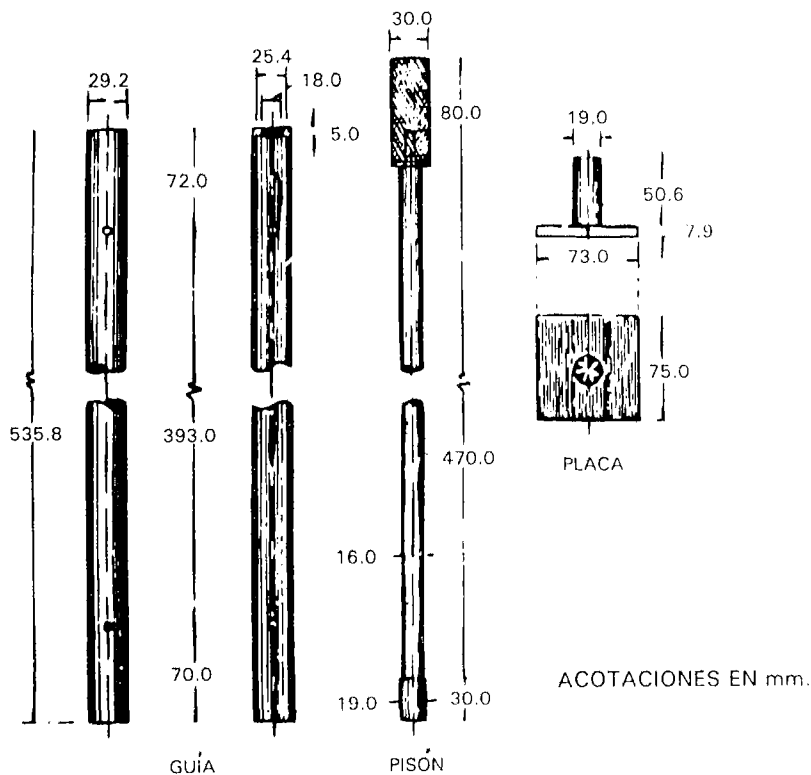


FIGURA 5.12

PISÓN Y PLACA DE COMPACTACIÓN PARA DETERMINAR EL VALOR CEMENTANTE

## 9. EL EQUIVALENTE DE ARENA

### a. DESCRIPCIÓN

El equivalente de arena no es una característica de los suelos y para dar una definición de él diremos que su obtención consiste en depositar una porción de suelo granular en una probeta conteniendo cierta solución acuosa, la cual será agitada para dejarla en reposo

por cierto tiempo. Después se podrá notar que las partículas finas se mantienen en suspensión y las partículas gruesas se asientan en el fondo de la probeta y ambas fracciones definen una frontera horizontal fácilmente ubicada en la graduación de la probeta. Así, el equivalente de arena será la relación, en porcentaje, entre la lectura de la graduación correspondiente a la frontera de las partículas gruesas y la lectura de la graduación correspondiente a la frontera de las partículas finas en suspensión.

El equivalente de arena indica la calidad de un suelo en función de su mínimo contenido de partícula finas y se aplicará a suelos para la subbase, base y carpeta asfáltica. Y es que, como ya se indicó, las partículas finas poseen mayor cualidad de retención de agua y esto afecta la resistencia del suelo.

El equivalente de arena, por lo tanto, revela la cantidad de partículas finas en un suelo y, a diferencia del contenido de partículas finas obtenido mediante la malla 0.075, lo hace sólo como un índice que puede tener valores de 0 a 100 %.

Cuanto mayor sea el equivalente de arena, el suelo tendrá cantidades menores de partícula finas y cuando su valor sea superior a 75 %, el suelo será considerado con pocas partículas finas; lo contrario sucederá cuando su valor sea inferior a 25 % y en este caso el suelo será de características plásticas.

## **b. DETERMINACIÓN**

### **1). MATERIAL Y EQUIPO**

- Papel filtro.
- Solución de reserva, preparada de la siguiente manera: En una botella de 3.78 l, se disuelve en agua 454 g de cloruro de calcio, se deja enfriar esta solución (porque la mezcla produce calor) y se le hace pasar por el papel filtro. Luego se agrega 47 g de solución volumétrica al 40 % de formaldehído RA, se mezcla el total y se agrega agua destilada hasta llenar la botella. Finalmente se agita la solución.
- Solución de trabajo preparada de la siguiente manera: En una botella de 3.74 l se vierte 85 cm<sup>3</sup> de solución de reserva, se agrega agua destilada hasta llenar la botella y se agita la solución.
- Guantes de hule.
- Probeta con graduación de 1 mm de aproximación, con su tapón de hule. Figura 5.13
- Tubo irrigador de acero inoxidable, provisto de un tramo de manguera y un sifón. Figura 5.13.
- Pisón metálico de 1000 g.
- Cápsula metálica de 57 mm de diámetro y 85 cm<sup>3</sup>.
- Embudo de vidrio, con boca de 10 cm de diámetro.
- Cronómetro.
- Agitador mecánico, manual, con amplitud de oscilación de 20 cm y frecuencia de 175 ciclos/min.
- Malla 4.75.
- Balanza de 2 Kg.
- Horno a 105 °C.

### **2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

- De una muestra de suelo se toma, por cuarteo, la porción necesaria para obtener 500 g de suelo que pasa la malla 4.75. Aquí se evitará la pérdida de partículas finas.
- Con la fracción de suelo que pasa la malla 4.75, humedecida y mezclada a mano, será llenada la cápsula metálica y se enrasará el material sobrante.

### **3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO**

- La botella con solución de trabajo será colocada a 915 mm por encima de la mesa de trabajo.
- Colocado el sifón a la botella, será llenada la probeta con solución de trabajo hasta la marca de 101.5 mm y se agregará la porción de suelo contenida en la cápsula. Luego se golpea la base de la probeta contra la palma de la mano para que el material se humedezca bien.
- Se deja en reposo la probeta y su contenido por 10 min y luego se agitará suavemente para desprender el material adherido a su fondo.
- Se agitará el contenido de la probeta durante 45 seg, estando el agitador mecánico calibrado a 175 ciclos/min.
- A fin de separar las partículas finas y dejarlas en suspensión, con el tubo irrigador accionado se lava las paredes de la probeta y se remueve el material del fondo. Cuando el nivel del líquido sea próximo a los 381 mm marcados en la probeta, se hará disminuir el flujo del irrigador y cesará cuando el líquido alcance los 381 mm. Luego será extraído el irrigador para que el contenido de la probeta repose 20 min.
- Se lee en la graduación de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión y se registra como "lectura de arcilla", en mm.
- Sin remover los finos en suspensión, lentamente se introduce el pisón en la probeta hasta que, por su propio peso, descanse en la fracción gruesa. Al descender el pisón, se mantendrá uno de los vértices de su pie pegado a la pared de la probeta y cerca de la

graduación, y al momento de tocar el pisón la fracción gruesa, se leerá en la graduación el nivel superior del indicador del pisón. Al valor de esta lectura se le restará 254 mm y el resultado será registrado como "lectura de arena", en mm.

- Para las dos lecturas anteriores, si se ubica entre dos marcas de la probeta, la lectura correcta será la indicada por la marca superior.

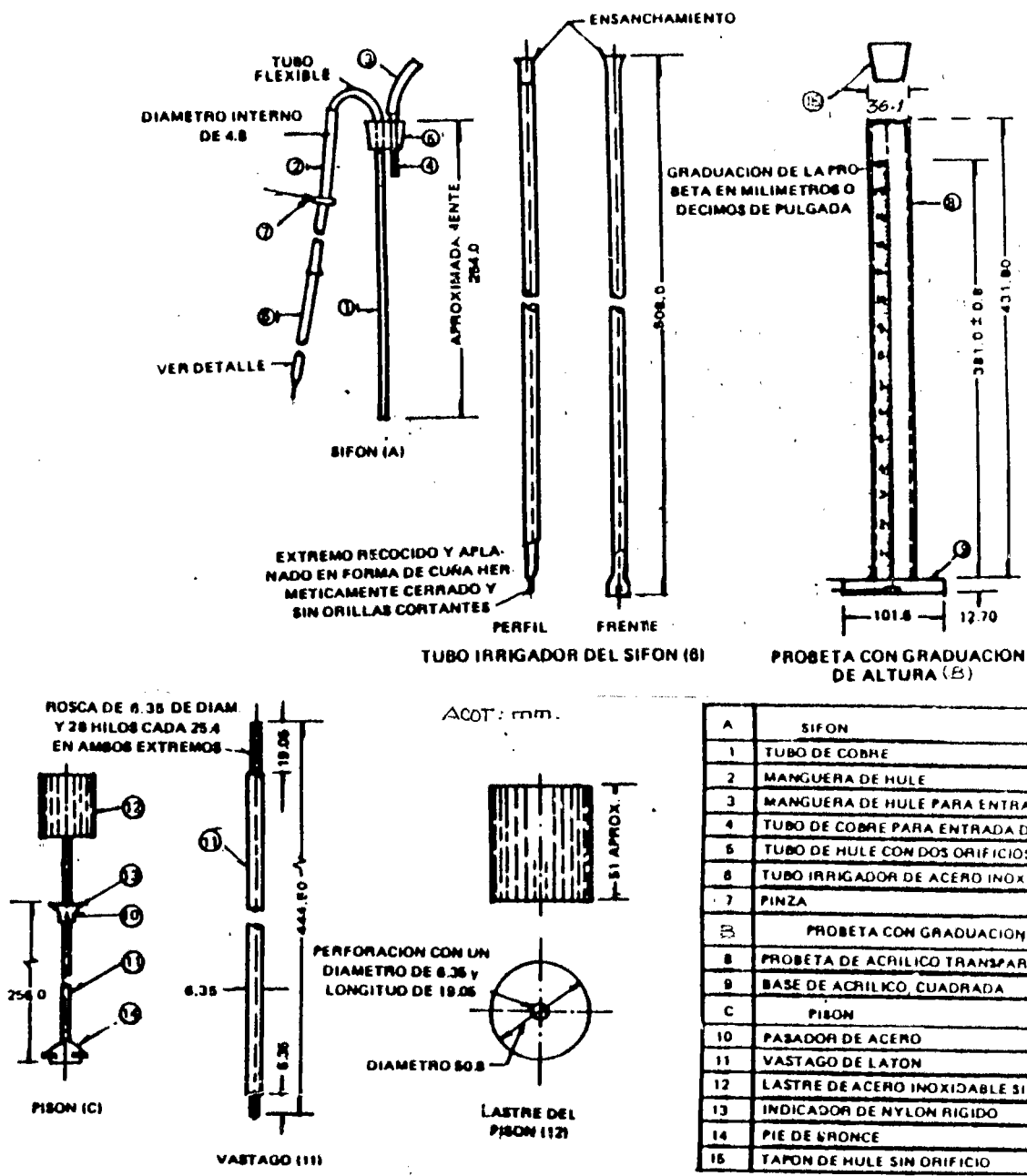
4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El equivalente de arena será calculado como:

$$EA = \left( \frac{\text{Lectura de arcilla}}{\text{Lectura de arena}} \right) 100$$

En donde:

EA es el equivalente de arena, en %, aproximado al entero superior.



A	SIFON
1	TUBO DE COBRE
2	MANGUERA DE HULE
3	MANGUERA DE HULE PARA ENTRADA DE AIRE
4	TUBO DE COBRE PARA ENTRADA DE AIRE
5	TUBO DE HULE CON DOS ORIFICIOS
6	TUBO IRRIGADOR DE ACERO INOXIDABLE
7	PINZA
B	PROBETA CON GRADUACION
8	PROBETA DE ACRILICO TRANSPARENTE
9	BASE DE ACRILICO CUADRADA
C	PISON
10	PASADOR DE ACERO
11	VASTAGO DE LATON
12	LASTRE DE ACERO INOXIDABLE SIMILAR
13	INDICADOR DE NYLON RIGIDO
14	PIE DE BRONCE
15	TAPON DE HULE SIN ORIFICIO

FIGURA 5.13  
EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

## 10. LA DURABILIDAD

### a. DESCRIPCIÓN

En este caso, la durabilidad es la oposición que presenta un suelo a la producción de partículas finas cuando, formando la base como capa estructural, queda sometido a esfuerzos de trabajo.

La producción de partículas finas se refiere al desprendimiento de pequeños granos de la fase sólida del suelo compactado y en ningún sentido se refiere a las partículas finas independientes. Se trata más bien de la liberación de granos muy pequeños por parte de las partículas gruesas del suelo, al quedar sometidas a esfuerzos de trabajo, y se debe a la fricción desarrollada entre ellas, que produce desgaste superficial.

La durabilidad se determina en función del desprendimiento de partículas finas que manifiesta una porción de suelo que pasa la malla 12.5 y se retiene en la malla 4.75, cuando es sometida a agitación mecánica. Las partículas finas así liberadas formarán una suspensión con determinada solución contenida en una probeta graduada, en donde, después de un tiempo, las partículas finas desprendidas definirán una frontera horizontal fácilmente ubicada en la graduación de la probeta. Partiendo de esta ubicación, se podrá obtener la durabilidad como un índice cuya fórmula se indicará más adelante. Pero también la durabilidad será estimada en función de las variables que en el equivalente de arena conocimos como "lectura de arena" y "lectura de arcilla". Para esto será sometida una porción de suelo que pasa la malla 4.75 a la determinación del equivalente de arena, pero sólo con el propósito de conocer las citadas variables y con ellas obtener la durabilidad como un porcentaje entre la "lectura de arena" y la "lectura de arcilla".

De los dos valores anteriores de durabilidad, el que juzgará la calidad del suelo para la base será el mayor y se tomará en cuenta que a menor durabilidad mayor será el desprendimiento de partículas finas.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Recipientes para lavado mecánico. Figura 5.14
- Charolas redondas.
- Agitador mecánico Tyler modificado.
- Agitador mecánico Ro-Tab.
- Horno a 105 °C.
- Probeta de 1000 cm<sup>3</sup>.
- Pipeta de 10 cm<sup>3</sup>.
- Mallas 19.0, 12.5, 9.5, 4.75, 2.0, 0.850, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.
- Balanza de 5 Kg.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De una muestra de suelo se obtiene 8 Kg de la fracción que pasa la malla 19.0 y se retiene en la malla 4.75. Además se obtendrá 1 Kg de la fracción que pasa la malla 4.75. A la primera llamaremos material grueso y a la segunda material fino.
- Se separa el material grueso en las fracciones retenidas en las mallas 12.5, 9.5 y 4.75 y se calcula el porcentaje de cada una con respecto al total.
- Si cada porcentaje anterior fuera igual o mayor a 10, combinando las fracciones respectivas se obtendrá dos porciones de 2500 g, de acuerdo a las proporciones siguiente:
  - De la fracción retenida en la malla 12.5: 1050 g.
  - De la fracción retenida en la malla 9.5: 550 g.
  - De la fracción retenida en la malla 4.75: 900 g.
- Cuando el porcentaje de una o dos de las fracciones retenidas del material grueso sea menor a 10, las dos porciones de 2500 g se integrarán de la manera siguiente: La porción correspondiente a cada fracción menor a 10 % será la que resulte de multiplicar cada porcentaje, en forma decimal, por los 2500 g. Por otra parte, la porción correspondiente a cada fracción mayor a 10 % será proporcional a 1050 g, 550 g o 900 g, según si la fracción retenida corresponde a la malla 12.5, 9.5 o 4.75, respectivamente, siendo referida cada porción a la cantidad que, de los 2500 g, haya quedado después de restar las proporciones de las fracciones menores a 10 %. Lo siguiente es un ejemplo de lo anterior:
  - Para una fracción de 6 %:  $(0.06) (2500) = 150$  g
  - Para una fracción de 25 %:  $[ 550 (2500-150) ] / (550 + 900) = 891$  g.
  - Para una fracción de 69 %:  $[ 900 (2500-150) ] / (550 + 900) = 1459$  g.
- Cada porción de 250 g, contenida en su recipiente de lavado con 1000 cm<sup>3</sup> de agua, será agitada mecánicamente durante 2 min y luego se completará su lavado en la malla 4.75. El material retenido en esta malla será depositado en una charola y el que pasa será desechado.



- El material lavado de ambas porciones, o sea, el retenido en la malla 4.75, será juntado para ser secado al horno a 105 °C y hasta peso constante.
- Enfriado el material seco anterior, será dividido en sus fracciones retenidas en las mallas 12.5, 9.5 y 4.75. La fracción que pasa la malla 4.75 será eliminada y las retenidas serán expresadas en porcentajes respecto del peso del material seco.
- Con las fracciones retenidas anteriores se integrará nuevamente una porción de 2500 g, que será la porción de prueba del material grueso. Para la integración se procederá como se indicó para las dos porciones iniciales de 2500 g, excepto que, cuando hayan fracciones menores a 10 %, se agregará proporcionalmente a éstas la cantidad necesaria de la misma fracción para completar la porción de prueba de 2500 g. En ocasiones se lavará una tercera porción de material para obtener la cantidad proporcional de alguna de las fracciones con porcentaje menor a 10 %.
- Por otra parte, se tomará del material fino una porción de 500 g y se depositará en el recipiente de lavado para su agitación mecánica durante 2 min.
- Usando la malla 0.075, se completará el lavado de la porción anterior aplicando un chorro lento de agua a la vez que se remueve. Concluirá el lavado cuando el agua de la malla salga limpia. El material retenido en esta malla, que es la porción lavada, será depositado en una charola para ser secado al horno a 105 ° C y hasta peso constante.
- La porción lavada fina será enfriada para ser cribada por las mallas 2.0, 0.825, 0.250, 0.150 y 0.075. Este cribado se hará con el agitador mecánico Ro-Tab.
- Se juntan nuevamente las fracciones retenidas en las anteriores mallas y del conjunto se obtendrá una cantidad para llenar la cápsula metálica utilizada en la determinación del equivalente de arena, cantidad que será la porción de prueba del material fino.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

Para la porción de prueba del material grueso se procederá de la siguiente manera:

- Será depositada la porción de prueba en el recipiente de lavado conteniendo éste 1000 cm<sup>3</sup> de agua y será agitada mecánicamente durante 10 min.
- Para provocar la suspensión de las partículas finas se agitará manual y circularmente el recipiente con la porción de prueba.
- Será cribado el contenido del recipiente por las mallas 2.0 y 0.075, estando éstas acopladas y con su charola de fondo.
- Las partículas finas depositadas en la charola de fondo serán colocadas en la probeta conteniendo 1000 cm<sup>3</sup> de agua destilada. Después se agitará manualmente esta probeta para depositar su contenido hasta los 381 mm de la graduación de otra probeta conteniendo 7 cm<sup>3</sup> de solución de reserva. Luego se agitará esta última probeta, colocándola de cabeza en 20 ocasiones consecutivas durante 35 seg.
- Se dejará reposar el contenido de la probeta durante 20 min, para leer en la graduación el nivel de los finos sedimentados y registrarlo como H, en cm.
- Para la porción de prueba del material fino se procederá igual que en la determinación del equivalente de arena tratada en la parte A.9 de este capítulo. Así se obtendrá el valor de la "lectura de arcilla" y la "lectura de arena".

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- La durabilidad del material grueso será calculada con la expresión:

$$D_g = 30.3 + 20.8 \text{Ctg} [(0.29 + 0.059H) (57.2958)]$$

En donde:

$D_g$  es la durabilidad del material grueso, adimensional.

H es la altura en la probeta de las partículas fina sedimentadas, en cm.

- La durabilidad del material fino será calculada como:

$$D_f = \left( \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \right) 100$$

En donde:

$D_f$  es la durabilidad del material fino, adimensional.

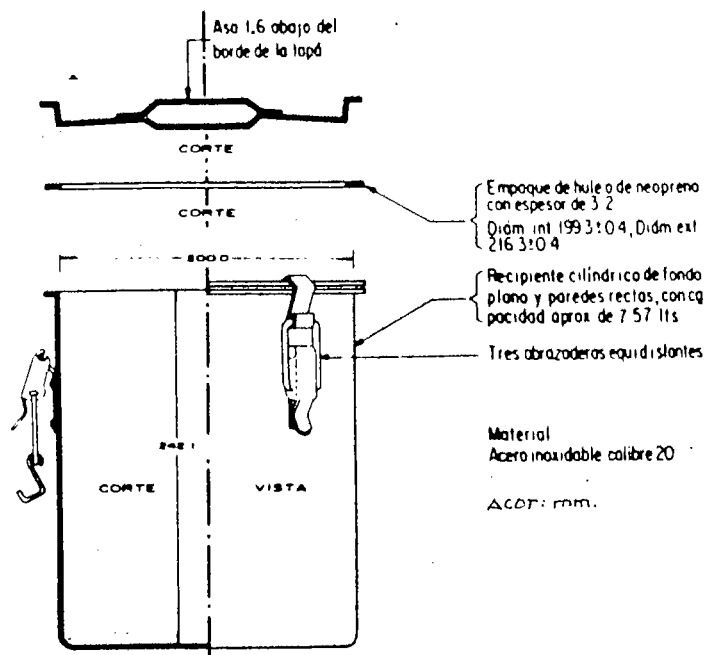


FIGURA 5.14  
RECIPIENTE PARA LAVAR LAS PORCIONES DE PRUEBA

## 11. EL DESGASTE LOS ÁNGELES

### a. DESCRIPCIÓN

El desgaste Los Ángeles es una medida indirecta del grado de alteración de un suelo, producido éste por debilitamiento de sus partículas gruesas y que provoca la desintegración parcial en ellas.

Este parámetro se determina provocando abrasión artificial a la fracción de suelo retenida en la malla 1.70, usándose para esto un cilindro metálico conteniendo esferas metálicas, que se hace girar a velocidad y tiempos determinados. La fracción de suelo dentro del cilindro desprenderá partículas finas que, en porcentaje respecto del peso inicial de la fracción original, será el desgaste Los Ángeles del suelo en estudio.

El desgaste Los Ángeles se aplicará a suelos granulares de la base o la carpeta asfáltica.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Máquina de abrasión Los Ángeles, que consiste en un cilindro hueco de acero, de 711 mm de diámetro y 508 mm de longitud. Está provista de una abertura que se cierra herméticamente y lleva por dentro una placa radial removible de 89 mm de ancho. El cilindro está montado en una base, que le permite girar en posición horizontal y lo complementan varias esferas de acero de 47.6 mm de diámetro y pesos de 390 a 445 g.
- Mallas 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.36 y 1.70.
- Horno a 105 °C.
- Balanza de 20 Kg.
- Charolas rectangulares de lámina.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De una muestra de suelo se tomará una porción de 20 Kg.
- A esta porción se le determina su peso volumétrico seco máximo mediante la compactación Porter de la parte 10 del apéndice. También se determinará la composición granulométrica como lo indica la parte A.1 de este capítulo.
- Se criba la porción por la malla 1.70 y se lava en esta malla su fracción retenida si contiene partículas finas.
- Será secada al horno la fracción anterior, a 105 ° C y hasta peso constante.
- Será seleccionado de la tabla 5.1 el "tipo de muestra" que más se aproxime a la porción inicial. Esto se hará comparando la composición granulométrica obtenida con la composición granulométrica que para cada tipo de muestra se da en la citada tabla.
- Se criba por las mallas correspondientes al "tipo de muestra" seleccionado la fracción retenida en la malla 1.70 y se obtienen los pesos de las fracciones retenidas.

- La suma de los pesos anteriores será igual al peso del "tipo de muestra" de la tabla 5.1 y quedará registrado como  $W_i$ .
- Las fracciones anteriores serán juntadas para formar la porción de prueba, que será equivalente al "tipo de muestra" seleccionado.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De la tabla 5.1 se determina la carga abrasiva en función del "tipo de muestra" seleccionado.
- Será introducida a la máquina de abrasión la porción de prueba con peso  $W_i$  y también la carga abrasiva.
- Estando cerrado, se hace girar el cilindro de la máquina de abrasión a 30 rev/min hasta completar 500 rev, siempre que la porción de prueba corresponda al tipo de muestra A, B, C o D de la tabla 5.1, o hasta completar 1000 rev si la porción de prueba corresponde al tipo de muestra E, F o G de la citada tabla.
- Se extraerá la porción de prueba de la máquina de abrasión para su cribado por la malla 1.70 y pesar la fracción retenida, quedando registrado este peso como  $W_f$ .

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El desgaste Los Ángeles será obtenido como:

$$DLA = \left( \frac{W_i - W_f}{W_i} \right) 100$$

En donde:

$DLA$  es el desgaste Los Ángeles, en %.

$W_i$  es el peso de la porción de prueba antes de la abrasión, en g.

$W_f$  es el peso de la porción de prueba después de la abrasión, en g.

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA EN g.	CARGA ABRASIVA	
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		NUM. DE ESFERAS	PESO TOTAL EN g.
A	37.5	25.0	1250±25	12	5000±25
	25.0	19.0	1250±25		
	19.0	12.5	1250±10		
	12.5	9.5	1250±10		
TOTAL			5000±10		
B	19.0	12.5	2500±10	11	4584±25
	12.5	9.5	2500±10		
TOTAL			5000±10		
C	9.5	6.3	2500±10	8	3330±20
	6.3	4.75	2500±10		
TOTAL			5000±10		
D	4.75	2.36	5000±10	6	2500±15
TOTAL			5000±10		
E	75.0	63.0	2500±50	12	5000±25
	63.0	50.0	2500±50		
	50.0	37.5	5000±50		
TOTAL			10000±100		
F	50.0	37.5	5000±50	12	5000±25
	37.5	25.0	5000±25		
TOTAL			10000±75		
G	37.5	25.0	5000±25	12	5000±25
	25.0	19.0	5000±25		
TOTAL			10000±50		

TABLA 5.1  
PORCIONES DE PRUEBA Y CARGA ABRASIVA PARA EL DESGASTE LOS ÁNGELES

## 12. LA AFINIDAD CON EL ASFALTO

### a. DESCRIPCIÓN

La afinidad con el asfalto se refiere a la variable adherencia que la superficie de las partículas de un suelo manifiesta ante el cubrimiento de los asfaltos.

Las partículas de los suelos para la base o la carpeta asfáltica tienden a desligarse del cubrimiento asfáltico cuando han absorbido agua. Esto se debe a fenómenos de tensión superficial en los espacios inter granulares y la adherencia se hace más crítica a mayor tensión superficial. Por esto se dice que los suelos son de afinidad variable al ser cubiertos con los distintos asfaltos.

Pero también la mala adherencia puede ser provocada por una pequeña capa de polvo en la superficie de las partículas gruesas del suelo, que evita el contacto entre éstas y el asfalto, además del grado de alteración que cada partícula gruesa presenta en su superficie.

Para definir la calidad de un suelo considerando la afinidad con el asfalto, es necesario aplicar los siguientes parámetros:

#### 1. EL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN.

Se dice que es el porcentaje de superficie de un número de partículas de suelo que, cubiertas con asfalto por mezclado, manifiesta desprendimiento de asfalto cuando el total de partículas es sometido a agitación, la cual produce rozamiento entre ellas.

#### 2. EL CUBRIMIENTO CON ASFALTO.

Éste representa el porcentaje de un número de partículas de suelo que, cubiertas con asfalto por mezclado, manifiesta adherencia de asfalto cuando el total de partículas es agitado para producir rozamiento entre ellas.

#### 3. EL DESPRENDIMIENTO DE PELÍCULA.

Éste es similar al desprendimiento por fricción, tanto en su definición como en su determinación.

#### 4. LA PÉRDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN.

Ésta relaciona la disminución de resistencia de un grupo de especímenes saturados con la resistencia de otro grupo de especímenes secos. Los especímenes son hechos por compactación de una porción de mezcla asfáltica y la capacidad de adherencia del agregado pétreo es analizada en función de la estabilidad que las partículas compactadas manifiestan ante la ruptura por compresión de los especímenes. Por lo tanto, la pérdida de estabilidad por inmersión indica disminución de resistencia a la compresión de especímenes de mezcla asfáltica, por la reducción de adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto.

Los tres primeros parámetros se aplicarán a suelos para la base, en tanto que el primero, segundo y cuarto se aplicará a suelos para la carpeta asfáltica, siendo el cuarto aplicado cuando haya de emplearse mezcla asfáltica hecha en planta estacionaria.

### b. DETERMINACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO POR FRICCIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Agua potable.
- Dispositivo mecánico de agitación, que consiste en una barra giratoria porta frascos, que se apoya en soportes de valeros y es accionada por un motor eléctrico.
- Frasco de vidrio de 500 cm<sup>3</sup>. Será de boca ancha y tapado hermético.
- Balaza de 2 Kg.
- Horno a 105 °C.
- Placa eléctrica de 200 °C.
- Mallas 12.5, 6.3, 2.0 y 0.425.
- Baño de agua, a 30 °C.
- Cuchara chica para albañilería.
- Lupa de 5 dioptrías y 5 cm de diámetro.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De una muestra de suelo se obtendrá, por cuarteo, una porción de 3 Kg.
- Esta porción será cribada por las mallas 12.5, 6.3, 2.0 y 0.425, para obtener las fracciones retenidas en cada una de ellas y también la fracción que pasa la última malla. La fracción retenida en la malla 12.5 será eliminada.
- Con las fracciones anteriores se integrarán dos porciones de prueba de 500 g cada una, para lo que se calculará previamente el peso de la cantidad que se tomará de cada fracción, de acuerdo a la granulometría que vaya a requerirse en la obra. Cuando se utilice cemento asfáltico para la mezcla, bastará con una porción de prueba.
- En el caso de usar cemento asfáltico, la porción de prueba será calentada a 135 °C.
- Si se va a utilizar asfalto rebajado o asfalto emulsionado, se dejará en saturación, por 8 h, una de las dos porciones de prueba y después será calentada a 40 °C por 1 h.
- Será colocada en una charola la porción saturada y se dejará allí hasta que adquiera un color opaco estando húmeda, lo cual indicará que el material ha adquirido aproximadamente la humedad de absorción.
- La otra porción de prueba, que no se somete a saturación, será calentada a 40 °C cuando se trate de asfalto emulsionado.

- Será tomada una muestra del asfalto seleccionado para la carpeta asfáltica y de ella se obtendrá una porción de 200 g. Esta porción será calentada a 60 °C si se trata de asfaltos rebajados, a 130 °C si se trata de cementos asfálticos y para asfaltos emulsionados no se calentará.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será mezclada la porción o porciones de prueba con una cantidad de asfalto necesaria para que las partículas queden cubiertas uniformemente.
- Las dos mezclas, si se hicieron con asfalto rebajado serán calentadas a 60 °C durante 15 h, y si se hicieron con asfalto emulsionado serán calentadas a 135 °C durante 2 h. Esto eliminará el disolvente contenido en estos asfaltos. La mezcla única hecha con cemento asfáltico sólo se dejará enfriar al ambiente y lo mismo se hará con las dos mezclas después del calentamiento.
- De cada mezcla elaborada (dos o una, según el tipo de asfalto) se tomará las partículas necesarias para formar dos porciones de 50 g y para una de ellas las partículas serán de 5 a 10 mm y para la otra serán menores a 5 mm.
- Las cuatro porciones de 50 g (o dos, según el caso) se colocarán en respectivos frascos de vidrio y se les agregará 200 cm<sup>3</sup> de agua.
- Tapados los frascos, serán sumergidos en el baño de agua a 25 °C, durante 18 h.
- Se agitarán los frascos en el dispositivo de agitación durante 20 min.
- Se elimina el agua de los frascos y se colocan las partículas sobre una hoja de papel blanco, según pertenezcan a cada porción de 50 g.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Para las cuatro porciones de 50 g (o para las dos, según el caso) se calculará, por observación y con la lupa, el porcentaje de superficie con desprendimiento de asfalto de cada partícula, el cual se estimará respecto de la superficie total de la partícula. Luego se suman estos porcentajes parciales y el total se registra como  $S_D$ .
- Para las cuatro porciones de 50 g (o para las dos, según el caso) se sumarán las superficies totales de las partículas y se registrará el total como  $S_T$ .
- El desprendimiento por fricción, para cada porción de 50 g, será obtenido como:

$$D_F = \left( \frac{S_D}{S_T} \right) 100$$

En donde:

$D_F$  es el desprendimiento por fricción, en %.

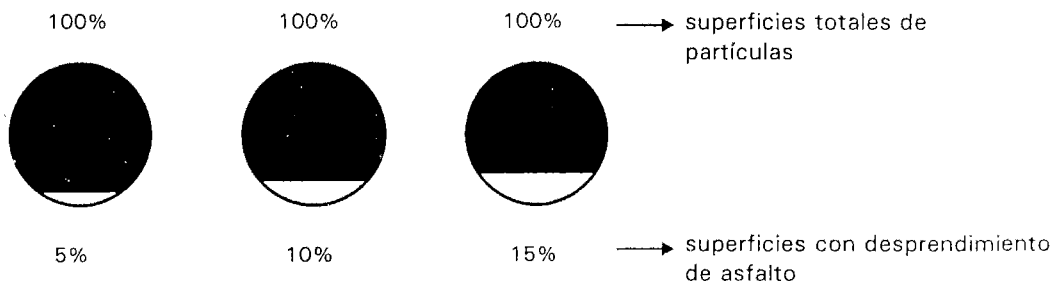
$S_D$  es la suma de porcentajes de superficies con desprendimiento de asfalto, de las partículas de suelo.

$S_T$  es la suma de porcentajes de superficies totales de las partículas de cada porción de 50 g.

Si en la mezcla asfáltica se usó asfalto rebajado o asfalto emulsionado, el desprendimiento por fricción definitivo será el de porcentaje mayor de los cuatro obtenidos, correspondientes a las cuatro porciones de 50 g. Si se usó cemento asfáltico, será el mayor de los dos obtenidos, correspondientes a las dos porciones de 50 g.

Los cálculos y la obtención del desprendimiento por fricción pueden ejemplificarse de la manera siguiente:

Supóngase que en el análisis intervienen tres partículas del agregado pétreo, a las que se han calculado los siguientes porcentajes de superficies con desprendimiento de asfalto:



La suma de porcentajes de superficies con desprendimiento de asfalto será:

$$S_D = 5 + 10 + 15 = 30 \%$$

Como cada partícula tiene 100 % de superficie, la suma de porcentajes de superficies totales de todas las partículas será:

$$S_T = 100 + 100 + 100 = 300 \%$$

Así, el desprendimiento por fricción será:

$$D_F = \left( \frac{S_D}{S_T} \right) 100 = \left( \frac{30}{300} \right) 100 = 10 \%$$

### c. DETERMINACIÓN DEL CUBRIMIENTO CON ASFALTO

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Malla 12.5 y 9.5.
- Charola inoxidable, de 130 cm de diámetro y 15 cm de altura.
- Termómetro de 150 °C.
- Baño de agua a 50 °C.
- Balaza de 2 Kg.
- Vaso de aluminio de 1 l.
- Espátula de acero, de 2.5 cm de ancho y 10 cm de longitud.
- Lupa de 5 aumentos.
- Agua potable.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra se obtiene, por cuarteo, una porción de 1 Kg, y de ésta se tomará la fracción que pasa la malla 12.5 y se retiene en la malla 9.5.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De la fracción que pasa la malla 12.5 y se retiene en la malla 9.5 se toma más de 6 partículas representativas.
- Se forma en la charola una película asfáltica de 1.5 mm de espesor empleando 20 g del asfalto indicado para la carpeta asfáltica.
- Se sumerge parcialmente la charola en el baño de agua, teniendo éste la temperatura requerida por el asfalto al ser aplicado a la carpeta asfáltica. La película asfáltica en la charola permanecerá sumergida indirectamente hasta que adquiera la temperatura del baño de agua.
- Presionando ligeramente contra el fondo de la charola, se coloca cada partícula representativa sobre la película asfáltica y allí permanecerán por 10 min.
- Se toman de la charola las partículas representativas y con cuidado se colocan sobre una hoja de papel blanco.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Por observación y con la lupa, se obtiene para cada partícula el porcentaje de superficie con adherencia de película asfáltica. Se sumarán estos porcentajes y el total se registrará como  $S_C$ .
- También se obtiene para cada partícula el porcentaje de superficie en contacto con la película asfáltica, se sumarán estos porcentajes y el total se registrará como  $S_P$ .
- El cubrimiento con asfalto se calculará como:

$$C_A = \left( \frac{S_C}{S_P} \right) 100$$

En donde:

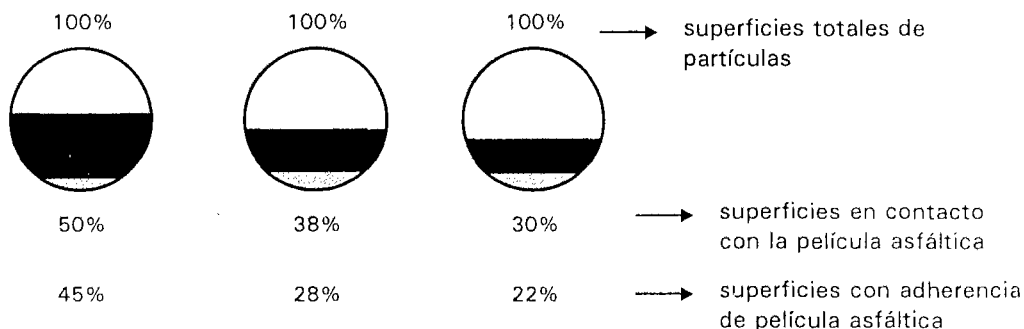
$C_A$  es el cubrimiento con asfalto, en %.

$S_C$  es la suma de porcentajes con adherencia de película asfáltica, de las partículas representativas.

$S_P$  es la suma de porcentajes de superficies en contacto con la película asfáltica, de las partículas representativas.

Un ejemplo del cubrimiento con asfalto es el siguiente:

Supongamos que las partículas en contacto con la película asfáltica fueron tres y registraron los siguientes datos:



La suma de porcentajes de superficies con adherencia de película asfáltica será:

$$S_C = 45 + 28 + 22 = 95 \%$$

La suma de porcentajes de superficies en contacto con la película asfáltica será:

$$S_p = 50 + 38 + 30 = 118 \%$$

Entonces, el cubrimiento con asfalto se calculará como:

$$C_A = \left( \frac{S_C}{S_P} \right) 100 = \left( \frac{95}{118} \right) 100 = 80.5 \%$$

#### d. DETERMINACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO DE PELÍCULA

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Malla 9.5, 4.75 y 2.36.
- Horno a 150 °C.
- Placa eléctrica a 200 °C.
- Termómetro de 150 °C.
- Dispositivo mecánico de agitación, formado por un cilindro metálico de 30 cm de diámetro y 7 cm de altura.
- Frascos cilíndricos de vidrio, de 225 cm<sup>3</sup>, 5 cm de diámetro y 13 cm de altura. Serán de boca ancha y tapado herméticos.
- Charolas metálicas rectangulares.
- Vaso de aluminio de 1 l.
- Espátula de acero, de 2.5 cm de ancho y 10 cm de longitud
- Lupa de 5 aumentos.
- Agua potable.

##### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Se tomará 3 Kg de la muestra de suelo para ser cribados por las mallas 9.5, 4.75 y 2.36.
- De acuerdo a la granulometría del suelo para la base, de las fracciones retenidas anteriores se tomarán los pesos correspondientes para formar dos porciones de prueba de 60 g cada una. Si para la base se va a utilizar cemento asfáltico, bastará una porción de prueba.
- Una de las porciones de prueba se dejará saturar por 18 h dentro de un vaso conteniendo agua. Después se calentará a 60 °C el agua del vaso y se continuará la saturación por 1 h más.
- Se deposita la porción de prueba saturada en una charola para ser removida hasta que adquiriera un color opaco, que indicará que ha adquirido la humedad de absorción.
- La otra porción de prueba será calentada a 50 °C si se trata de asfaltos rebajados y no será calentada si se trata de asfaltos emulsionados. La única porción de prueba, al tratarse de cemento asfáltico, será calentada a 135 °C.
- Se tomará 100 g del asfalto en estudio y se calentará de acuerdo a lo siguiente: Cementos asfálticos a 130 °C, asfaltos rebajados a 60 °C y asfaltos emulsionados no se calentarán.

##### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Cada porción de prueba (o la única, si es el caso) será bien mezclada con el asfalto elegido, sin que haya exceso de éste.
- Las dos mezclas serán calentadas a 60 °C durante 15 h. Si es una mezcla, no se calentará y sólo se dejará enfriar al ambiente durante 2 h.
- Se remueve cada mezcla por dos minutos y se deja enfriar hasta 25 °C.
- Depositadas las mezclas en los frascos de vidrio, se añaden 175 cm<sup>3</sup> de agua a 25 °C y se tapan los frascos para su agitación en su dispositivo correspondiente. La agitación será por 15 min.
- Se coloca cada mezcla en una hoja de papel blanca.

##### 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

- Usando la lupa y para ambas mezclas de asfalto, por observación se calcula el porcentaje con desprendimiento de película de cada partícula y la suma de ellos se registra como  $S_{DP}$ . También será calculada la suma de porcentajes de superficies totales de todas las partículas de cada mezcla y se registrará como  $S_T$ .
- Para cada mezcla, el desprendimiento de película será:

$$D_P = \left( \frac{S_{DP}}{S_T} \right) 100$$

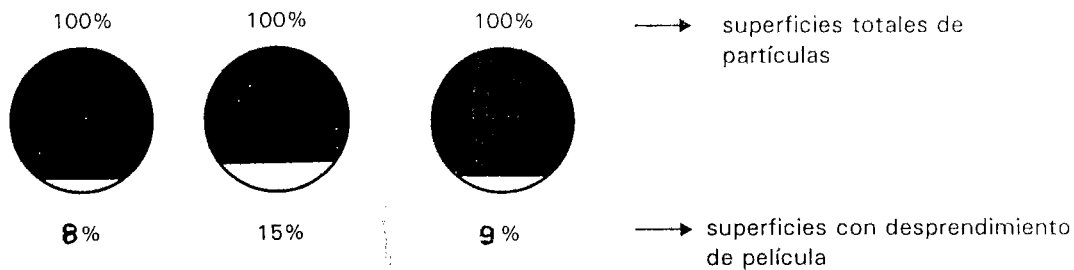
En donde:

$D_P$  es el desprendimiento de película, en %.

$S_{DP}$  es la suma de los porcentajes de superficies con desprendimiento de película, en %.

$S_T$  es la suma de porcentajes de superficies totales de las partículas de la mezcla, en %.

Los dos valores de desprendimiento de película, o uno si fuere al caso, se aplicarán al análisis de la calidad del agregado pétreo. Se presenta a continuación un ejemplo del cálculo del desprendimiento de película: Supongamos una porción de prueba mezclada, que consta de tres partículas con los siguientes datos calculados:



La suma de los porcentajes de superficies con desprendimiento de película será:

$$S_{DP} = 8 + 15 + 9 = 32 \%$$

La suma de porcentajes de superficies totales de todas las partículas será:

$$S_T = 100 + 100 + 100 = 300 \%$$

Entonces, el desprendimiento de película será:

$$D_P = \left( \frac{S_{DP}}{S_T} \right) 100 = \left( \frac{32}{300} \right) 100 = 10.7 \% \approx 11 \%$$

#### e. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE ESTABILIDAD POR INMERSIÓN

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Baño de agua, a 100 °C.
- Máquina de compresión axial, de 4.5 t.
- Extensómetro.
- Calibrador Máuser.
- Recipientes con tapa, para los cilindros de prueba.
- Bolsas de plástico.
- Malla 25.0.
- Parrilla eléctrica de 100 °C.
- Seis moldes cilíndricos. Figura 5.15.
- Placa de compactación de acero. Figura 5.18.
- Varilla en punta de bala, de 9 mm de diámetro y 35 cm de longitud.
- Termómetro de inmersión parcial, de 150 °C.
- Cuchara para albañilería.
- Artesa metálica.
- Charolas de lámina rectangulares.
- Balanza de solución, de 20 Kg.

##### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De las muestras necesarias de suelo, se obtendrá 40 Kg de material que pase la malla 25.0.

##### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De acuerdo a la parte 3 del apéndice, se obtendrá la cantidad óptima de asfalto necesaria para ser mezclada con la muestra preparada de 40 Kg.
- Calentados los 40 Kg de material pétreo a 50 °C (excepto si se va a usar asfalto emulsionado), se mezclan con la cantidad óptima de asfalto, manteniendo la temperatura a 50 °C.
- Con la mezcla caliente a 50 °C, se formarán 6 especímenes en los moldes cilíndricos, depositando en ellos 2 capas iguales y acomodándolas con 20 penetraciones de varilla.



- Se compacta cada espécimen en su molde, usando la máquina de compresión y aplicando una carga de 1 010 Kg y después otra de 4 050 Kg, que será completada a los 5 min. Las cargas serán aplicadas a razón de 1 cm / min y la última durará 2 min.
- A fin de extraer los especímenes de los moldes, se dejarán éstos en reposo durante 2 días.
- Mediante la parte 2 del apéndice, se obtiene el peso volumétrico seco de cada espécimen.
- Se mide el diámetro de cada espécimen y se registra como D.
- Se forman 2 grupos de 3 especímenes, de manera que el peso volumétrico seco promedio de uno difiera lo menos posible respecto del peso volumétrico seco promedio del otro.
- Estando en sus respectivos recipientes tapados, los especímenes de un grupo reposarán por 20 h al ambiente.
- Cada espécimen del grupo anterior será colocado dentro de una bolsa de plástico para ser sumergido en el baño de agua a 25 ° C durante 4 h.
- Los especímenes del grupo restante serán sumergidos en el baño de agua a 25 ° C durante 4 días y estarán en contacto directo con el agua.
- Iniciando con los especímenes en las bolsas de plástico, se romperá cada uno de acuerdo a lo siguiente: Colocando el espécimen en la máquina de compresión, se ajusta el extensómetro para medir la deformación y se aplica carga a razón de 1 cm / min hasta la falla. Para cada espécimen, la carga de falla será registrada como C, en Kg.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se calculará el área transversal de los especímenes de cada grupo como:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

En donde:

A es el área transversal de cada espécimen, en cm<sup>2</sup>.

D es el diámetro de cada espécimen, en cm.

- La resistencia a la compresión axial de los especímenes de cada grupo será:

$$R = \frac{C}{A}$$

En donde:

R es la resistencia a la compresión axial de cada espécimen, en Kg / cm<sup>2</sup>.

C es la carga de falla de cada espécimen, en Kg.

A es el área transversal de cada espécimen, en cm<sup>2</sup>.

- Se calculará la resistencia a la compresión promedio para cada grupo de especímenes, registrándose como R<sub>1</sub> para el grupo sin saturación y como R<sub>2</sub> para el grupo con 4 días de saturación.
- Por último, la pérdida de estabilidad por inmersión se obtiene mediante la fórmula:

$$P_{Ei} = \left( \frac{R_1 - R_2}{R_1} \right) 100$$

En donde:

P<sub>Ei</sub> es la pérdida de estabilidad por inmersión, en %.

R<sub>1</sub> es la resistencia a la compresión promedio del grupo de especímenes sin saturación, en Kg / cm<sup>2</sup>.

R<sub>2</sub> es la resistencia a la compresión promedio del grupo de especímenes con 4 días de saturación, en Kg / cm<sup>2</sup>.

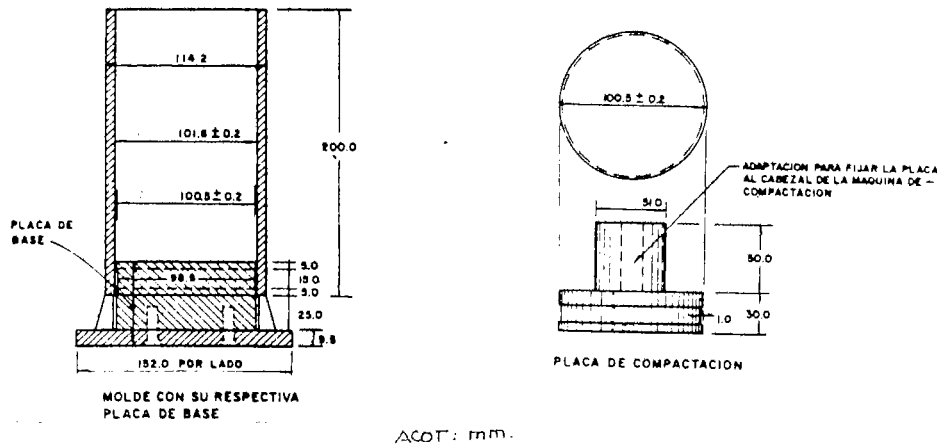


FIGURA 5.15  
MOLDE Y PLACA DE COMPACTACIÓN

### 13. EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS LARGAS

#### a. DESCRIPCIÓN

El contenido de partículas largas es la cantidad de partículas aciculares que contiene un suelo.

Un contenido de partículas largas da por resultado pésima composición granulométrica en un suelo, lo que traerá por consecuencia compactación dificultosa y escasa resistencia al esfuerzo cortante.

Las partículas largas en un suelo serán aquellas con relación de longitud y ancho mayor a 1.8 y su cuantificación se logra pasando manualmente más de 200 partículas por las aberturas de un calibrador de longitudes, en donde presentarán resistencia al paso las partículas largas. Así, el peso de las partículas rechazadas por el calibrador de longitudes, en porcentaje respecto del peso de todas las partículas ensayadas, será el contenido de partículas largas, el cual se aplicará como parámetro de calidad para suelos granulares de la carpeta asfáltica.

#### b. DETERMINACIÓN

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Mallas 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 6.3.
- Balanza de 20 Kg.
- Calibrador de longitudes. Figura 5.16.

##### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- De una muestra de suelo, por cuarteo se tomará una cantidad para obtener 200 partículas retenidas en la malla 6.3.
- Se cribará la porción anterior por la malla 6.3 y el peso de la fracción retenida será registrado como  $W_i$ .
- La fracción retenida anterior será cribada sucesivamente por las mallas 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, y 6.3 y se contarán las partículas retenidas en cada malla para verificar que el total no sea inferior a 200. De ser así, será repetido lo anterior para una mayor cantidad de muestra.

##### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será tomada cada partícula de los retenidos en las mallas anteriores para verificar si pasa por alguna abertura del calibrador de longitudes, siendo necesario para esto, que la dimensión mayor de la partícula sea paralela al eje longitudinal del calibrador.
- Se juntarán las partículas que hayan pasado por las aberturas del calibrador de longitudes, se determina el peso de todas y se registra el peso como  $W_r$ .

##### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El contenido de partículas largas será obtenido por la expresión:

$$CPL = \left( \frac{W_f}{W_i} \right) 100$$

En donde:

$C_{PL}$  es el contenido de partículas largas, en %:

$W_f$  es el peso de las partículas que no pasaron por alguna abertura del calibrador de longitudes, en g.

$W_i$  es el peso de la fracción retenida en la malla 6.3.

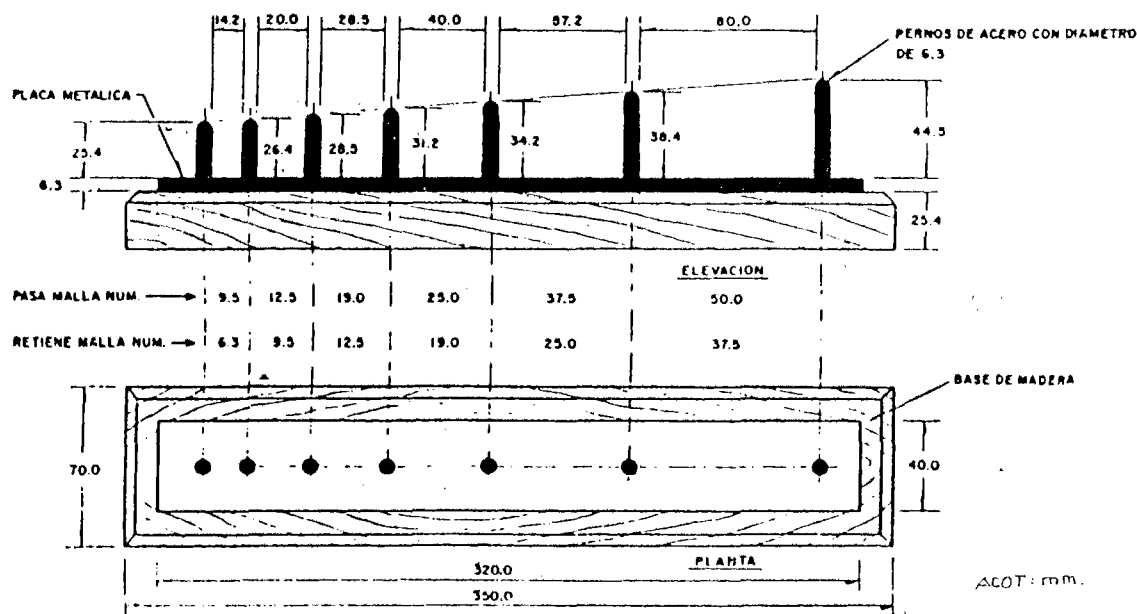


FIGURA 5.16  
CALIBRADOR DE LONGITUDES

## 14. EL INTEMPERISMO ACCELERADO

### a. DESCRIPCIÓN

El intemperismo acelerado es la desintegración artificial provocada a las partículas gruesas de un suelo, mediante la formación de cristales de sodio en sus poros.

Éste indica el grado de alteración que puede adquirir en sus partículas un suelo granular, debido a factores diversos de intemperie.

El intemperismo acelerado se aplica a los agregados pétreos para la carpeta asfáltica y la calidad estará relacionada a la resistencia que éstos presentan ante fenómenos de intemperie simulados en el laboratorio. Y es que, el sulfato de sodio, al formar cristales en los poros y fisuras de las partículas del agregado pétreo provoca una degradación semejante a la provocada por el intemperismo natural.

Debido a esta degradación artificial, las partículas del agregado pétreo pierden parte de sí, o sea, pierden peso, y el intemperismo acelerado se obtiene como el porcentaje que este peso perdido representa respecto del peso de la porción de prueba original de agregado pétreo.

Valores altos de intemperismo acelerado indicarán mayor debilidad de los agregados pétreos ante la degradación provocada por fenómenos de intemperie.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Mallas 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 16.0, 12.5, 9.5, 8.0, 4.75, 2.36, 1.18, 0.600 y 0.300.
- Horno a 105 °C.
- Densímetro con calibración de 1.00 a 1.20.
- Charolas metálicas rectangulares.
- Recipientes de plástico de 1l y 2 l, con tapa.
- Balanzas de 2 Kg y 5 Kg.
- Siete canastillas con malla 2.36, de 2.5 l.
- Cinco Canastillas con malla 0.150, de 100 cm<sup>3</sup>.
- Vasos de aluminio de 1 l.
- Recipiente de plástico de 20 l, con tapas y capacidad para las canastillas.
- Solución sulfato de sodio, preparada de la siguiente manera:
  - Se vierte en un recipiente de plástico 19 l de agua limpia y se agrega 350 g de sulfato de sodio anhidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) por cada litro de agua; se agita el contenido del recipiente y se deja reposar la solución por 48 h, a 21 °C.
  - Solución cloruro de bario, preparada de la siguiente manera:
    - Se disuelve 10 g de cloruro de bario (BaCl<sub>2</sub>) en 40 cm<sup>3</sup> de agua y se agrega 20 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico. Se mezclan estas cantidades con un agitador de vidrio y se agrega la cantidad de agua necesaria para completar 100 cm<sup>3</sup>.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Por cuarteo se toma 20 Kg de una muestra de suelo y se divide en 2 partes iguales.
- Una parte se criba por la malla 9.5 para obtener su fracción que pasa y la otra se criba por la malla 4.75 para obtener su fracción retenida. A la primera llamaremos porción gruesa y a la segunda porción fina.
- Se criba la porción fina por las mallas 4.75, 2.36, 1.18, 0.600 y 0.300. Se criba la porción gruesa por las mallas 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75. En ambos casos se pesan las fracciones retenidas en cada malla y se registran los pesos en porcentaje respecto del peso de la porción correspondiente. Se obtiene también el peso de la fracción que pasa la malla 0.300 y se registra en porcentaje respecto del peso de la porción fina.
- Integrada nuevamente la porción fina, se lava por la malla 0.300 para después secarla al horno a 105 °C y hasta peso constante.
- De la porción fina lavada se obtienen las fracciones retenidas en las mallas 4.75, 2.36, 1.18, 0.600 y 0.300 y sus pesos se registrarán en porcentaje respecto del peso de dicha porción. De estas fracciones, serán eliminadas aquellas menores a 5 % y las restantes serán registradas formando una columna W<sub>i</sub>.
- Se deposita cada fracción anterior en su canastilla de malla 0.150 y así quedarán dispuestas para formar las porciones de prueba de la porción fina.
- Integrada nuevamente la porción gruesa, se lava por la malla 4.75 para ser secada al horno a 105 °C y hasta peso constante.
- De la porción gruesa lavada se obtienen las fracciones retenidas en las mallas 75.00, 63.0, 50.0, 37.5, 25.00, 19.00, 12.5, 9.5 y 4.75 y sus pesos se registran en porcentaje respecto del peso de dicha porción. De estas fracciones se eliminarán aquellas menores a 5 % y las restantes se usarán para formar las porciones de prueba de la porción gruesa, de acuerdo a lo siguiente:
  - La primera porción de prueba será de 500 g, formada por 300 g de la fracción retenida en la malla 50.0 y por 200 g de la retenida en la malla 37.5.
  - La segunda porción de prueba será de 1500 g, formada por 1000 g de la fracción retenida en la malla 25.0 y 500 g de la retenida en la malla 19.0.
  - La tercera porción de prueba será de 1000 g, formada por 670 g de la fracción retenida en la malla 12.5 y 330 g de la retenida en la malla 9.5.
  - La cuarta porción de prueba será de 300 g, formada por la fracción retenida en la malla 4.75.
- Si algunas de las fracciones retenidas de la porción gruesa lavada fueran eliminadas, la primera, segunda o tercera porción de prueba anterior será formada por la fracción aceptable, debiendo cumplir con el peso indicado.
- Se deposita cada porción anterior en su canastilla de malla 2.36.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se agita la solución sulfato de sodio para verificar que su densidad sea de 1.151 a 1.174.
- Se sumerge cada canastilla y su porción de prueba en su recipiente de 20 l conteniendo solución sulfato de sodio a 21 °C. La inmersión tardará 16 h y los recipientes permanecerán tapados.
- Se seca al horno cada porción de prueba en su canastilla, a 105 °C y hasta peso constante.

- Se repite en 4 ocasiones más las operaciones anteriores.
- Se lava bien cada porción de prueba, hasta que el agua de lavado se torne blanca al agregar 2 gotas de solución cloruro de bario.
- En su canastilla, cada porción de prueba será secada al horno a 105 °C y hasta peso constante.
- Se criba cada porción de prueba, tanto de la porción fina como de la gruesa, por las mallas siguientes:

PORCIÓN DE MATERIAL PÉTREO	TAMAÑO DE LA PORCIÓN DE PRUEBA	MALLA PARA CRIBAR LA PORCIÓN DE PRUEBA
Fina	Pasa la 9.5 y se retiene en la 4.75	4.75
	Pasa la 4.75 y se retiene en la 2.36	2.36
	Pasa la 2.36 y se retiene en la 1.18	1.18
	Pasa la 1.18 y se retiene en la 0.60	0.60
	Pasa la 0.60 y se retiene en la 0.30	0.30
Gruesa	Pasa la 75.0 y se retiene en la 37.5	31.5
	Pasa la 37.5 y se retiene en la 19.0	16.0
	Pasa la 19.0 y se retiene en la 9.50	8.0
	Pasa la 9.5 y se retiene en la 4.75	4.75

TABLA 5.2  
MALLAS PARA EL CRIBADO DE LAS PORCIONES DE PRUEBA

- Se pesan las fracciones retenidas en las anteriores mallas y se registran los pesos formando una columna  $W_i$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para cada porción de prueba, de la porción fina y de la gruesa, se calculará el peso perdido por la inmersión en la solución sulfato de sodio. Cada peso será obtenido en porcentaje respecto del peso inicial de la porción de prueba correspondiente y para esto se aplicará la fórmula:

$$P_i = \frac{W(W_i - W_f)}{W_i}$$

En donde:

$P_i$  es la pérdida de peso de cada fracción de prueba, tanto de la porción fina como de la gruesa, en %.

$W$  es el peso, en %, que de la porción fina o de la gruesa representa la fracción de prueba, corregido éste para considerar sólo las fracciones retenidas que representan más de 5 %.

$W_i$  es el peso inicial de la porción de prueba, en g.

$W_f$  es el peso final de la porción de prueba, en g.

- Para la porción fina como para la porción gruesa, se calculará el porcentaje total de pérdida de peso como la suma de los porcentajes parciales  $P_i$  correspondientes. Así, el intemperismo acelerado será el mayor porcentaje de pérdida de peso, sea de la porción fina o de la gruesa, y será registrado como  $I_a$ .

Se muestra en seguida un ejemplo del cálculo del intemperismo acelerado:

PORCIÓN FINA					
Malla	Fracción retenida (%)	Fracción retenida corregida, W (%)	Peso de la fracción de prueba, W <sub>i</sub> (g)	Peso de la porción de prueba, W <sub>r</sub> (g)	Pérdida de peso por intemperismo acelerado
4.75	4.6	-	-	-	
2.36	10.80	11.32*	100	88.8	[11.32 (100-88.8)] / 100 = 1.27
1.18	17.00	17.82	100	92.0	[17.82 (100-92.0)] / 100 = 1.43
0.60	25.80	27.04	100	95.2	[27.04 (100-92.5)] / 100 = 1.30
0.30	26.00	27.25	100	95.8	[27.25 (100-95.8)] / 100 = 1.14
0.30	15.8 (pasa)	16.57 (pasa)	-	-	
TOTAL	100.00	100.00			Σ P <sub>i</sub> = 5.14
PORCIÓN GRUESA					
75.0			0		
63.0	0		0		
50.0	0				
37.5	8		2825	4553.4	[20 (4783-4553.4)] / 47.83=0.96
	12		1958		
	Σ = 20	20	Σ = 4783		
25					
19	25		10.12		
	20		513		
	Σ = 45	45	Σ = 1525	1403.0	[45 (1525-1403)] / 1525 = 3.60
12.5					
9.5	15		625		
	8		333		
	Σ = 23	23	Σ = 1008	911.2	[23 (1008-911.2)] / 1008 = 2.20
4.75	12	12	298	264.6	[12 (298-264.6)] / 298 = 1.34
TOTAL	100	100			Σ P <sub>i</sub> = 8.10

\* Se obtiene como:  $10.80 + \left[ \left( \frac{10.80}{(100 - 4.60)} \right) 4.60 \right] = 11.32$

De los cálculos anteriores, el intemperismo acelerado será: I<sub>A</sub> = Σ P<sub>i</sub> = 8.10 %.

## B. DESCRIPCIÓN Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA ASFALTOS

En el capítulo III se dio a conocer los parámetros de calidad que los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados deben cumplir para la construcción de la carpeta asfáltica. Aquí trataremos cada uno de ellos en cuanto a la revisión de su valor, que permitirá definir si han sido fabricados correctamente o si han sufrido alguna alteración después de la fabricación.

Al tratar cada parámetro de calidad de los asfaltos, haremos referencia a la descripción y determinación y esta última incluirá al material y equipo, la preparación de la muestra, el procedimiento práctico y los cálculos y resultado. También seguiremos una secuencia arbitraria y conveniente al tratar cada parámetro de calidad y en cada caso se especificará a qué tipo de asfalto es aplicable cada parámetro o si, al ser aplicable a dos o más asfaltos, el parámetro varía en su determinación.

Considerando lo anterior, en seguida se expone cada parámetro de calidad para asfaltos.

### 1. LA PENETRACIÓN

#### a. DESCRIPCIÓN

La penetración es una medida de la consistencia de los cementos asfálticos, expresada por la profundidad que registra una aguja estándar en una porción asfáltica, bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.

El valor de la penetración varía dependiendo de la magnitud de la carga aplicada a la aguja, de la temperatura del material y del tiempo que dura la aplicación de la carga; sin embargo, para efecto del estudio de la calidad de los cementos asfálticos, la penetración se determina para una carga de 100 g, una temperatura del material de 25 °C y un tiempo de aplicación de carga de 5 seg. Bajo estas

condiciones se obtiene la penetración mediante un aparato especial, que indica la profundidad que la aguja cargada penetra en determinada porción de cemento asfáltico. Esta profundidad, que se lee en décimos de mm, es el valor de la penetración.

Es usual en la práctica no hablar de la penetración en términos de su unidad correspondiente, sino más bien se hace referencia a ella por su valor sin unidad, mismo que se entiende está dado en décimos de mm. Así, por ejemplo, de un cemento asfáltico se dirá sencillamente que es de penetración 85.

La penetración permite clasificar a los cementos asfálticos desde el punto de vista de la consistencia que poseen. También, conocida la consistencia, es posible establecer la calidad aglutinante de estos materiales, pues, cuanto más consistentes son, mayor poder aglutinante desarrollan y más fuerte quedan ligadas las partículas del agregado pétreo.

Pero la penetración también es útil cuando se estudia la calidad de los asfaltos FR, FM o asfaltos emulsionados en general, ya que, al ser determinada en el residuo por destilación, permite conocer si la fabricación de estos asfaltos ha sido a partir de cementos asfálticos en buen estado. Esto se analiza en función de la consistencia que el residuo manifiesta, toda vez que éste conserva aproximadamente las propiedades del cemento asfáltico que se ha rebajado o emulsionado.

Al evaluar la calidad de los cementos asfálticos se tendrá presente que la consistencia o dureza en ellos será cada vez menor a valores mayores de penetración.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Equipo especial, adaptado para desplazar verticalmente una aguja y medir la penetración de ésta con aproximación de 0.1 mm. Figura 5.17.
- Baño de agua a 50 °C. Tendrá capacidad para más de 10 l y estará provisto de un entrepaño perforado, que se colocará a no menos de 5 cm de su fondo y a no menos de 10 cm de la superficie del agua.
- Recipiente cilíndrico de metal, de 350 cm<sup>3</sup> y provisto de un sistema de sujeción para fijar en su interior una cápsula cilíndrica.
- Termómetro de 0 a 40 °C.
- Cronómetro.
- Cápsula cilíndrica.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Será calentada una muestra de cemento asfáltico hasta 130 °C, sin exceder 30 min.
- Con la muestra fluida será llenada la cápsula cilíndrica y se dejará enfriar el asfalto al ambiente.
- Para residuo asfáltico por destilación de los asfaltos FM, FR o emulsionados, concluida la destilación se llenará la cápsula cilíndrica agitando previamente el residuo y haciéndolo pasar por la malla 0.300.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Conteniendo a la cápsula cilíndrica con asfalto, se sumerge el recipiente cilíndrico en el baño de agua durante 12 h, para que adquiera el asfalto la temperatura del agua, que será de 25 °C.
- Conteniendo aún la cápsula cilíndrica en inmersión a 25 °C, se colocará el recipiente cilíndrico en la base del equipo de penetración, se ajusta la aguja hasta tocar sensiblemente la porción de asfalto en la cápsula y se activa el cronómetro a la vez que se libera la carga de 100 g para que la aguja penetre el asfalto durante 5 seg.
- Del indicador de penetración, se lee la profundidad de la aguja en el asfalto y se registra como P<sub>1</sub>, en décimos de mm.
- Se realizan dos penetraciones más, cuidando que el asfalto en la cápsula mantenga los 25 °C, que las penetraciones sean separadas más de 10 mm y que la aguja sea limpiada con tetracloruro de carbono después de cada penetración. Del indicador de penetración, se registrarán las dos penetraciones consecutivas como P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub>.
- Los tres valores de penetración cumplirán las diferencias permisibles de la tabla 5.3, de lo contrario serán anulados y será repetido el procedimiento práctico para una nueva porción de asfalto.

UBICACIÓN DE LOS VALORES DE PENETRACIÓN (décimos de mm)				DIFERENCIAS PERMISIBLES (décimos de mm)
Entre	0	y	49	2
Entre	50	y	149	4
Entre	150	y	249	6
Entre	250	o	más	8

TABLA 5.3  
DIFERENCIAS PERMISIBLES PARA LAS PENETRACIONES

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La penetración definitiva será el promedio de las tres obtenidas, o sea:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

En donde:

P es la penetración, en décimos de mm.

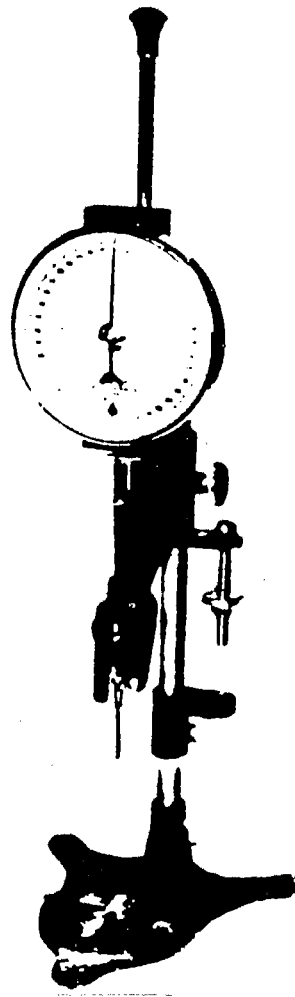


FIGURA 5.17  
EQUIPO PARA MEDIR LA PENETRACIÓN

## 2. LA VISCOSIDAD SAYBOL - FUROL Y LA VISCOSIDAD POR FLOTACIÓN

### a. DESCRIPCIÓN

Por viscosidad se entiende la resistencia que los fluidos presentan ante la deformación, como consecuencia del rozamiento interno de sus moléculas.

Para comprender la viscosidad, supongamos una capa delgada de fluido contenida entre dos láminas metálicas, de las que una es móvil y la otra fija. La única resistencia opuesta al desplazamiento horizontal de la lámina móvil corresponde a la que manifiesta la capa de fluido ante la deformación (figura 5.18). Esta resistencia, según se ha comprobado, es directamente proporcional a la velocidad de



desplazamiento de la lámina móvil y al área de contacto entre el fluido y la lámina móvil, e inversamente proporcional a la distancia que separa a ambas láminas. Pero también esta resistencia es equivalente a la fuerza aplicada para desplazar la lámina móvil y puede expresarse como:

$$F = \mu \frac{VA}{D}$$

En donde:

F es la fuerza aplicada a la lámina móvil.

V es la velocidad de desplazamiento de la lámina móvil.

$\mu$  es una constante de proporcionalidad.

D es la distancia que separa a las dos láminas.

A es el área en contacto con el fluido, de la lámina móvil.

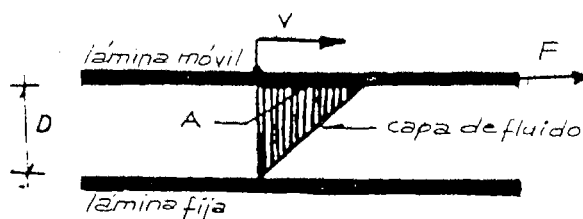


FIGURA 5.18  
ESQUEMA PARA ILUSTRAR LA VISCOSIDAD

De la expresión anterior tenemos que:

$$\mu = \frac{FD}{VA}$$

Por definición,  $\mu$  se conoce como viscosidad dinámica y el cociente  $F/A$  es el esfuerzo cortante o de tensión que se desarrolla en la capa de fluido. Si se designa a este esfuerzo como T, la viscosidad dinámica será entonces:

$$\mu = \frac{TD}{V}$$

De acuerdo con esto, la viscosidad dinámica relaciona el esfuerzo de tensión con la velocidad de corte. Dicho esfuerzo equivale al que desarrollan las moléculas del fluido por su resistencia al desplazamiento y es en este sentido que se justifica la definición de viscosidad dada al principio.

La viscosidad dinámica se puede medir con un aparato diseñado de acuerdo al principio de las láminas metálicas expuesto anteriormente. Este aparato es conocido como viscosímetro de placa deslizante, pero es de operación complicada y sólo se usa en el campo de la investigación.

Para aplicación a los asfaltos se ha creado el viscosímetro Saybolt - Furol, que es de operación sencilla y mide la viscosidad a partir del tiempo que cierta cantidad de asfalto tarda en fluir, a determinada temperatura, a través de un orificio de dimensiones establecidas. Por esto, a la viscosidad que así se determina, en seg, se le denomina viscosidad Saybolt - Furol.

Debido a que la viscosidad de un fluido varía con la temperatura, a los asfaltos se les ha fijado temperaturas a las que debe determinarse la viscosidad Saybolt - Furol. Esto se debe a que, si se tomara una sola temperatura para todos los asfaltos, en los más fluidos se obtendrían valores de viscosidad bajos, mientras que en los menos fluidos los valores podrían alcanzar los 3000 seg, o sea, 50 min, lo que sería poco práctico para determinaciones de rutina. Por esto se han elegido temperaturas según el grado de fluidez natural de cada asfalto, pero que propician tiempos de fluencia adecuados a los fines prácticos. Estas temperaturas, como veremos más adelante, van desde 25 °C hasta 135 °C, según el asfalto de que se trate, y son las que producen el mejor manejo de los asfaltos en la obra.

Al determinar la viscosidad Saybolt - Furol, se busca comprobar que los asfaltos tengan la fluidez correcta para ser aplicados a la construcción de la carpeta asfáltica. Pero además, en los asfaltos rebajados y en los emulsionados, la viscosidad Saybolt - Furol indicará indirectamente si han sido bien fabricados en cuanto a la cantidad de disolvente y agua que, respectivamente, deben contener.

La viscosidad Saybolt-Furol se aplicará al estudio de la calidad de todos los asfaltos, con excepción de los asfaltos rebajados FL, pues, en estos la fluidez es demasiado elevada y no permite ejecutar el procedimiento práctico de su determinación. Así, el juicio de la calidad habrá de considerar que, a valores mayores de viscosidad Saybolt - Furol los asfaltos serán de menor fluidez debido al mayor tiempo que registran al pasar por el orificio del viscosímetro.

Por otra parte, a fin de ser aplicado a los asfaltos rebajados FL, se ha considerado otro parámetro que mide la viscosidad a partir del residuo asfáltico de penetración 100. Esta es llamada viscosidad por flotación y proporciona información suficiente a cerca de la fluidez de estos asfaltos.

En general, la obtención de la viscosidad por flotación consiste en solidificar un tapón de residuo asfáltico de penetración 100 dentro del orificio inferior de un casquete metálico, el cual se dejará flotando en agua caliente, para luego registrar el tiempo que transcurre desde que el casquete es colocado en el agua hasta que el agua penetra al interior del mismo. Este tiempo, en seg, es lo que se designa como el valor de la viscosidad por flotación.

El valor de la viscosidad por flotación será el mismo para todos los asfaltos rebajados FL, puesto que siempre se obtendrá a partir de un mismo residuo asfáltico, o sea, el de penetración 100.

## b. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT - FUROL

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

Para cementos asfálticos:

- Viscosímetro Saybolt, con boquilla Furol. Figura 5.19.
- Tapa metálica, con diámetro de 56 cm y espesor de 7 mm. Posee varios orificios en su centro para permitir el paso del termómetro y los vástagos del anillo de desplazamiento.
- Baño de aceite, a 235 °C
- Matraz de vidrio de 60 cm<sup>3</sup>, a 20 °C y con marca de aforo en el cuello. Figura 5.19.
- Embudo de metal con malla 0.850. Ver la figura 5.19.
- Termómetro de inmersión total, con escala de 95 a 150 °C.
- Parrilla eléctrica.
- Cronómetro.

Para asfaltos rebajados FR, FM y asfalto emulsionado, los equipos serán los anteriores pero con los siguientes cambios:

- El termómetro será de inmersión parcial, con escala de -7 a 110 °C.
- El embudo estará provisto de malla 0.150.
- El baño será agua.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para cementos asfálticos se toman 450 g de una muestra y serán calentados hasta 135 ° C. Esta porción será agitada durante el calentamiento, que no será por más de 2 h. Para asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, se toman 150 g de una muestra para ser calentados a 2 ° C más que la temperatura de prueba, de acuerdo a la tabla siguiente. También esta porción no será calentada más de 2 h y será agitada durante el calentamiento.

TIPO DE ASFALTO	TEMPERATURA DE PRUEBA	TEMPERATURA PARA LA PORCIÓN DE 150 g
FR-0, FM-0, RR-1, RM-2, RL-1, RL-2, RL-2K, RL-3K	25 °C	27 °C
FR-1, FM-1, RR-2, RR-2K, RR-3K, RM-2K, RM-3K	50 °C	52 °C
FR-2, FR-3, FM-2, FM-3	60 °C	62 °C
FR-4, FM-4	82 °C	84 °C

TABLA 5.4  
TEMPERATURAS DE PRUEBA, SEGÚN EL TIPO DE ASFALTO

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Para cementos asfálticos, será vertida la muestra preparada en el viscosímetro hasta derramar en el anillo de desplazamiento, se colocará la tapa al anillo y se insertará el termómetro en su orificio central.
- Se agita la porción dentro del viscosímetro para ser calentada a 135 °C. El calentamiento se hace mediante el baño de aceite.
- Cuando la porción dentro del viscosímetro se mantenga a 135 °C durante 1 min, de inmediato se coloca el matraz aforado abajo del viscosímetro, se retira el tapón de corcho colocado a éste previamente y se acciona el cronómetro. Cuando el asfalto vertido en el matraz alcance los 60 cm<sup>3</sup> de aforo, se detendrá el cronómetro y se registrará el tiempo desde que el asfalto tocó el fondo del matraz hasta que alcanzó la marca de aforo. Este período no será mayor a 15 min.
- Para asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, con la muestra preparada se procederá según lo indicado anteriormente, solo que el depósito del baño para el viscosímetro contendrá agua a la temperatura de prueba del asfalto indicada en la tabla 5.4.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El valor de la viscosidad Saybol - Furol será el tiempo transcurrido desde que el asfalto tocó el fondo del matraz hasta que alcanzó la marca de aforo. Éste será registrado como  $V_{SF}$ , en seg.

## c. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD POR FLOTACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Casquete flotador. Figura 5.20.
- Boquilla para el casquete. Figura 5.20.
- Termómetro de inmersión total, de - 2 a 80 °C.
- Baño de agua a 50 °C, con tirante de 20 cm.
- Recipiente para enfriar la boquilla con la porción asfáltica.
- Placa de latón, de tamaño regular.
- Talco o caolín.
- Hielo.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se calentará el residuo asfáltico de penetración 100, lo suficiente para su agitación.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será llenada la boquilla del casquete flotador con residuo asfáltico fluido.
- Estando el residuo asfáltico a temperatura ambiente, será sumergida la boquilla en el recipiente con agua a 5 °C y durante 30 min.
- Se enrasa cada extremo de la boquilla para eliminar el sobrante de residuo asfáltico y se atornilla ésta al casquete flotador para ser sumergido, por 1 min, dentro del recipiente con agua a 5 °C.
- Estando seco el casquete flotador, será colocado en el baño con agua a 50 °C y al mismo tiempo se activará el cronómetro. Por la presión y temperatura del agua del baño, el residuo asfáltico en la boquilla será removido hacia arriba, lo cual permitirá el paso del agua al interior del casquete en flotación.
- Al momento de ingresar agua al interior del casquete flotador, será detenido el cronómetro y el tiempo marcado será registrado como  $V_F$ .

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La viscosidad por flotación será el tiempo  $V_F$ , en seg, o sea, el tiempo desde el inicio de la flotación del casquete hasta que el agua entra al mismo.

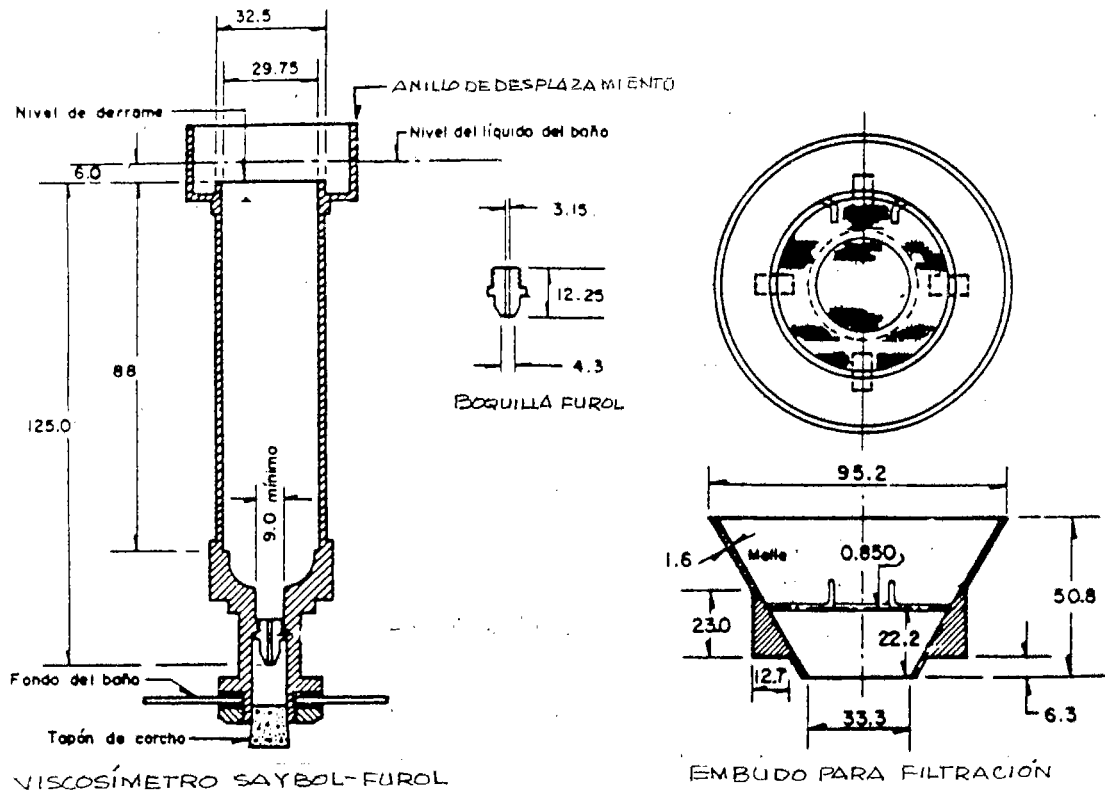
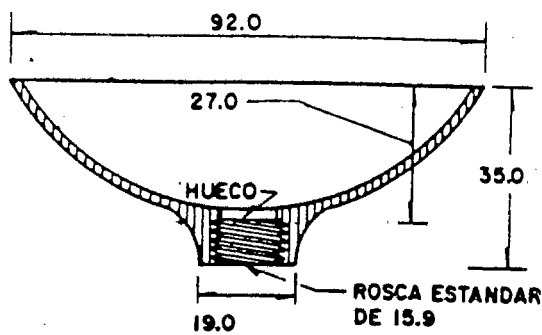
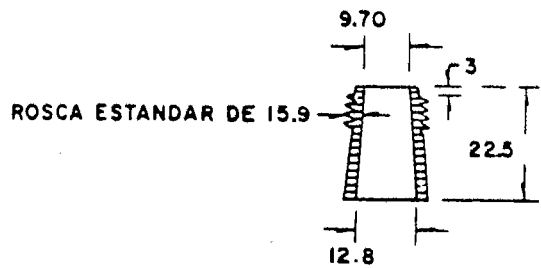


FIGURA 5.19  
EQUIPO PARA LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL



CASQUETE FLOTADOR



BOQUILLA

Acot: mm.

FIGURA 5.20  
CASQUETE FLOTADOR Y BOQUILLA PARA LA VISCOSIDAD POR FLOTACIÓN

### 3. EL PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND Y EL PUNTO DE INFLAMACIÓN TAG

#### a. DESCRIPCIÓN

El punto de inflamación de los cementos asfálticos y asfaltos rebajados es la temperatura a la cual sus componentes más volátiles se desprenden por calentamiento e inflaman temporalmente cuando se les pone en contacto con una pequeña flama. Esta temperatura es más baja que la requerida para la combustión de estos asfaltos y a ésta última también se llama punto de combustión.

Existen dos procedimientos para obtener el punto de inflamación de los asfaltos mencionados: El que utiliza el dispositivo Cleveland y el que utiliza el dispositivo Tag. En ambos el procedimiento es similar, sólo que el primero se aplica a los asfaltos más viscosos porque el punto de inflamación en ellos corresponde a temperaturas relativamente bajas, mientras que el segundo es aplicable a los menos viscosos porque en ellos el punto de inflamación corresponde a temperaturas más elevadas.

Lo anterior hace necesario diferenciar el punto de inflamación obtenido en uno y otro dispositivo utilizado, por lo que se han establecido los parámetros punto de inflamación Cleveland y punto de inflamación Tag, correspondiendo el primero a los cementos asfálticos y el segundo a los asfaltos rebajados.

El punto de inflamación representa la temperatura crítica arriba de la cual se debe tomar suficiente precaución para evitar algún probable incendio durante el calentamiento del asfalto al momento de ser aplicado en la obra. Pero la consideración del punto de inflamación, como una medida de la calidad de los asfaltos, obedece a que cada cemento asfáltico y asfalto rebajado, por estar suficientemente estudiado, debe corresponder a una temperatura específica de inflamación de sus componentes más volátiles, la cual ha de ubicarse en de cierto rango aceptable, de acuerdo a lo señalado en el capítulo III. Con relación a esto, si no se cumple el valor del punto de inflamación para determinado asfalto, se podrá cuestionar la calidad en función de la naturaleza de sus componentes más volátiles.

El punto de inflamación Cleveland será determinado en todos los cementos asfálticos y asfaltos rebajados FL, en tanto que el punto de inflamación Tag será aplicado a los asfaltos rebajados FR y FM, con excepción del FR-0 y FR-1. En los asfaltos emulsionados no se determina el punto de inflamación, porque su aplicación a la carpeta asfáltica se hace en frío.

La temperatura que corresponde al punto de inflamación, sea Cleveland o Tag, en ocasiones tendrá que ser corregida, dependiendo de la presión atmosférica del lugar.

#### b. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

Dispositivo Cleveland, constituido por los siguientes elementos:

- Copa abierta, de latón o cobre.
- Placa metálica, circular.
- Quemador a gas, con mechero.
- Termómetro de inmersión parcial, de -6 a 400 °C.
- Aplicador de flama, de 2 mm de diámetro y orificio de 0.8 mm de diámetro.
- Soporte para montar todo el equipo anterior, como el indicado en la figura 5.22.

##### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se calentará la muestra de cemento asfáltico a no más de 150 °C, para fluidificarla lo necesario a fin de vaciarla en la copa abierta Cleveland. Las muestras de asfalto rebajado FL sólo serán agitadas para el mismo propósito.

##### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será vertida la muestra preparada en la copa abierta del dispositivo, hasta su nivel de aforo.
- Con el mechero inferior, se calentará el contenido de la copa a razón de 15 °C/min y hasta alcanzar 60 °C a bajo de la temperatura que como requisito rige para el punto de inflamación.
- Se baja el suministro de calor a 5 °C/min y se mantiene hasta que el asfalto en la copa alcance 30 °C abajo de la temperatura considerada como requisito para el punto de inflamación.
- Produciendo el aplicador lateral una flama de 3 a 5 mm, se acercará la flama al asfalto en la copa, haciéndola pasar de lado a lado y al centro de la copa durante 1 seg. El acercamiento será desde el borde de la copa y se hará cada vez que el asfalto aumente 2 °C.
- Al producirse una pequeña flama instantánea en el asfalto de la copa, se registrará su temperatura como  $t_1$ .

##### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El punto de inflamación Cleveland será la temperatura a la cual la muestra produce la primera flama instantánea y que en el procedimiento anterior se ha designado como  $t_1$ , en °C.

Para zonas geográficas con presión atmosférica distinta de 760 mm Hg, la temperatura  $t_1$  será corregida aplicando la fórmula:

$$t_1' = t_1 + 0.03 (760 - P)$$

En donde:

$t_1'$  es el punto de inflamación Cleveland corregido, en °C.

$t_1$  es el punto de inflamación Cleveland por corregir, en °C.

P es la presión atmosférica distinta de 760 mm Hg.

### c. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN TAG

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

Dispositivo Tag, constituido por los siguientes elementos:

- Base metálica.
- Baño metálico.
- Soporte para el termómetro.
- Copa abierta de vidrio, resistente al calor.
- Aplicador de flama, con orificio de 0.8 mm.
- Calibrador de acero inoxidable, de 3.2 mm de espesor. Ver la figura 5.23.
- Pantalla de material combustible, formada por dos hojas de 60 x 70 cm, ligadas a su lado mayor mediante bisagras, y soportando ambas, en posición vertical, una hoja triangular de 60 x 60 x 85 cm. Ésta formará el techo de la pantalla y quedará ligada, mediante bisagras, a una de las hojas rectangulares. El interior de la pantalla será negro.
- Termómetro de inmersión parcial, de -7 a 110 °C.
- Matraces de 500 cm<sup>3</sup> y con tapones de hule.
- Jeringa hipodérmica de 5 cm<sup>3</sup>.
- Vaso de aluminio de 1 l.
- Agua limpia.
- Hielo seco (bióxido de carbono con acetona).

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de asfalto rebajado FR o FM será tomada una porción de 500 g y se calentará a 11 °C por abajo del punto de inflamación indicado como requisito de calidad.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- En la copa abierta será vertida la porción asfáltica anterior hasta 3 mm abajo de su borde.
- Regulada la flama del aplicador a 4 mm, se eleva la temperatura del contenido en la copa a 11 °C por abajo del punto de inflamación establecido como requisito de calidad.
- Se verifica con el calibrador que el nivel de asfalto en la copa sea el inicial. Si se requiere ajustar dicho nivel, se aumentará o disminuirá el volumen de asfalto.
- Se aplicará calor inferior a la copa a razón de 1 °C/min y de inmediato se pasará la flama del aplicador por encima del asfalto durante 1 seg. El paso de la flama será en cada aumento de temperatura.
- Al producirse una pequeña flama instantánea en cualquier punto del asfalto en la copa, se registrará la temperatura como  $t_1$ .
- Se obtendrá otros dos valores  $t_1$  y los tres no podrán diferir en más de 4 °C. Si esto no se cumple, todo el procedimiento anterior será repetido para una nueva porción de asfalto.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El punto de inflamación Tag será la menor temperatura  $t_1$  que produce la primera flama instantánea en el asfalto rebajado.

Para zonas geográficas con presión atmosférica distinta de 760 mm Hg, la temperatura  $t_1$  será corregida aplicando la formula:

$$t_1' = t_1 + 0.03 (760 - P)$$

En donde:

$t_1'$  es el punto de inflamación Tag corregido, en °C.

$t_1$  es el punto de inflamación Tag por corregir, en °C.

P es la presión atmosférica distinta de 760 mm Hg.

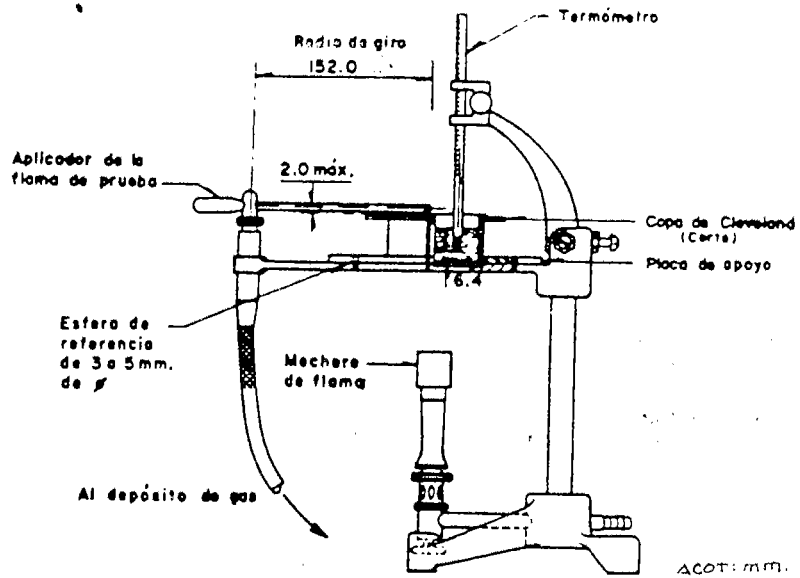


FIGURA 5.21  
DISPOSITIVO CLEVELAND

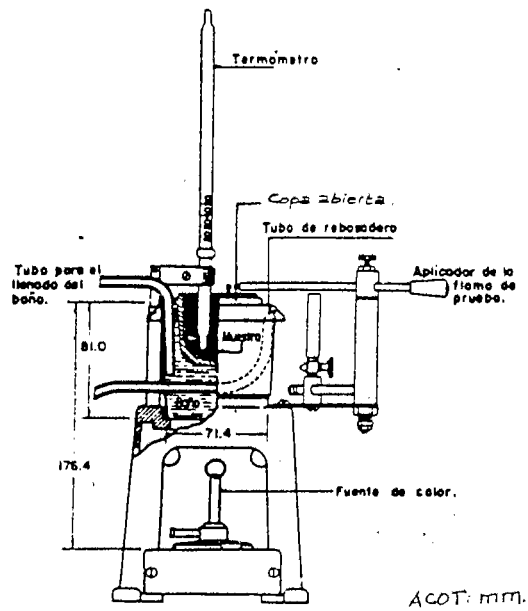


FIGURA 5.22  
DISPOSITIVO TAG

## 4. EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

### a. DESCRIPCIÓN

Se llama punto de reblandecimiento a la temperatura que provoca en los cementos asfálticos cierto estado de fluidez inicial.

Al ser calentados, los cementos asfálticos van reblandeciendo poco a poco hasta lograr la fluidez de un líquido. Durante este proceso tiene lugar la temperatura a la que el material inicia su fluidez, pero ésta no se puede medir en el momento exacto que provoca la fluidez. Por lo tanto, el punto de reblandecimiento no es exactamente la temperatura a la que el material inicia su fluidez, pero sí es la que representa la etapa inicial de ésta.

Los cementos asfálticos no son sólidos en el sentido amplio, ya que estrictamente no tiene punto de fusión y en consecuencia no poseen una frontera de transición del estado sólido al líquido o viceversa. Por esto, al no ser posible su distinción mediante un punto de fusión, se ha optado por asignarles un punto de reblandecimiento convencional.

El punto de reblandecimiento tiene mayor aplicación a la medida de la susceptibilidad térmica de los cementos asfálticos, que es una propiedad que modifica su consistencia natural debido a los cambios bruscos de temperatura. Este cambio de la consistencia natural es permanente; es decir, los cementos asfálticos no recuperan su consistencia original después de experimentar variaciones extremas de temperatura.

Para no utilizar en la obra cementos asfálticos de excesiva susceptibilidad térmica, la calidad en ellos tomará en cuenta que a mayor punto de reblandecimiento, mayor será la variación de su consistencia cuando, formando la carpeta asfáltica, queden sometidos a los cambios de temperatura ambiental. Y una elevada variación en la consistencia de los cementos asfálticos provocará resistencias menores en la carpeta asfáltica y deformaciones irreversibles durante su operación.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Anillos y porta-anillos. Figura 5.24.
- Esferas de acero, de 9.5 mm de diámetro y 3.5 g.
- Guía de latón, para centrar la esfera. Figura 5.26.
- Vaso de vidrio refractario, de 85 mm de diámetro y 120 mm de altura.
- Termómetro de inmersión total, de -2 a 80 °C.
- Termómetro de inmersión total, de 200 °C.
- Pinzas para manejar las esferas.
- Fuente de calor.
- Placa de apoyo, de latón o bronce.
- Agua limpia y glicerina.
- Talco.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Será calentada una muestra de cemento asfáltico, hasta fluidificarla sin pasar de 130 °C.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Untados previamente con talco y calentados a la temperatura de la muestra preparada, en los dos anillos del porta-anillos será vertida parte de la muestra preparada sin que se llenen totalmente y por 30 min se dejará enfriar el asfalto para que adquiera la temperatura 10 °C menor que la especificada para el punto de reblandecimiento.
- En el vaso de vidrio conteniendo agua a 5 °C y con un tirante de 10 cm, será colocado el dispositivo con los anillos pero separado del fondo 2.5 cm. Lo mismo se hará con las esferas metálicas y la guía de latón, sin alterar el asfalto en los anillos.
- Colocado previamente el termómetro en el orificio del porta-anillo y separado su bulbo 2.5 cm del fondo del vaso, serán colocadas las esferas sobre las porciones de asfalto en los anillos y la temperatura del agua permanecerá constante.
- Será aumentada la temperatura del agua en el vaso a razón de 5 °C/min y cuando, por la fluidez, el asfalto toque el fondo del vaso, se registrará la temperatura leída del termómetro como  $P_R$ .
- Si la precipitación de ambas porciones asfálticas en los anillos no se da simultáneamente, se tomará el promedio de ambas temperaturas y se registrará como  $P_R$ , siempre que la diferencia entre ellas no exceda de 1 °C. Si esto no se cumple, se anulará el valor  $P_R$  y será repetido el procedimiento práctico para otra cantidad de asfalto.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

El punto de reblandecimiento será la temperatura  $P_R$ , en °C, que el agua del vaso posee al momento en que las porciones asfálticas precipitadas tocan el fondo del vaso.



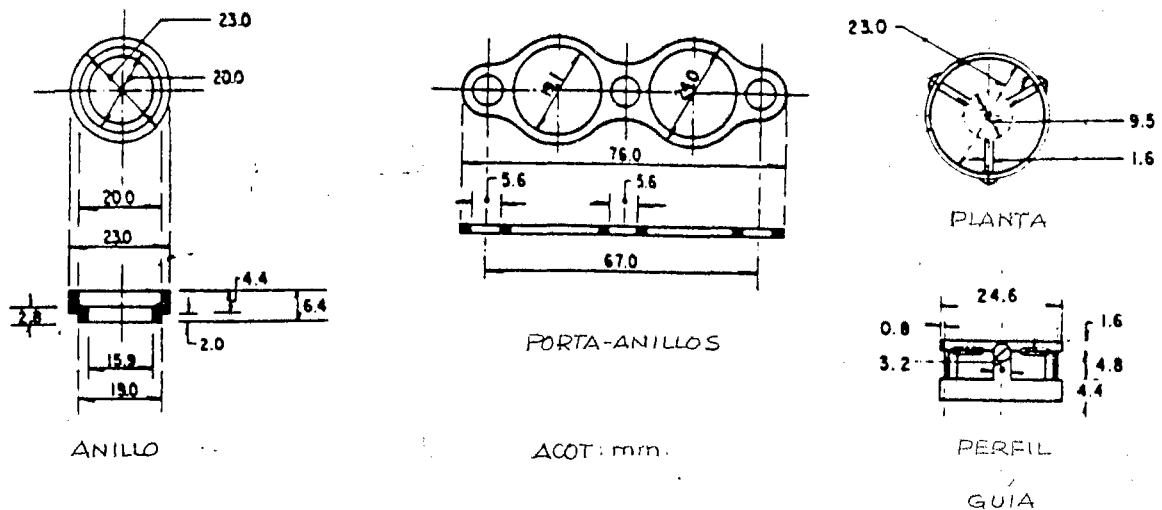


FIGURA 5.23  
EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

## 5. LA DUCTILIDAD

### a. DESCRIPCIÓN

La ductilidad es la propiedad de ciertos materiales a experimentar alargamientos sin mostrar disgregación o ruptura durante la aplicación momentánea de una fuerza de tensión limitada.

En los cementos asfálticos, la ductilidad se relaciona con la facultad aglutinante que desarrollan cuando son mezclados con los agregados pétreos durante la construcción de la carpeta asfáltica. Pero el mecanismo que hace posible esta relación es aún desconocido y las aseveraciones en este sentido se fundamentan en resultados experimentales y estadísticos.

En la práctica, la ductilidad permite que la carpeta asfáltica acepte deformaciones limitadas ante el tránsito vehicular. Si el asfalto en esta capa estructural careciera de ductilidad, se tornaría quebradizo en poco tiempo y provocaría fallas estructurales.

La ductilidad es aplicada al estudio de la calidad de los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, pero en estas dos últimas categorías se hará en el residuo asfáltico por destilación, usándose para los asfaltos FL el residuo de penetración 100. Se emplea este residuo por ser asfaltos fluidificados y carentes de ductilidad.

La ductilidad se obtiene colocando en el ductilómetro una porción de cemento asfáltico o de residuo por destilación, estando a 25 °C. Se aplica presión a las mordazas de cada extremo del ductilómetro y al romperse el material se suprime la fuerza de tensión. La separación final de las mordazas será entonces el valor de la ductilidad.

Es fácil concluir que a mayor deformación de la porción asfáltica mayor será la ductilidad del asfalto en estudio, lo cual no significa que las deformaciones excesivas en los asfaltos sean benéficas para la carretera.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Molde de latón, compuesto por dos mordazas y dos elementos laterales. Figura 5.25.
- Placa de latón o bronce, con espesor de 2 mm y con superficie suficiente para apoyar los moldes.
- Baño de agua a 25 °C. Contendrá en su interior un entrepaño perforado que estará separado a no menos de 5 cm del fondo y a no menos de 10 cm de la superficie del agua.
- Ductilómetro.
- Termómetro de -8 a 32 °C.
- Cloruro de sodio.
- Talco.
- Paño absorbente.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Será calentada una muestra de cemento asfáltico sin exceder 130 °C y se hará pasar por la malla 0.300. Si fuera residuo asfáltico, éste deberá estar caliente al pasar por esta malla.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Colocado el molde sobre la placa de apoyo y previamente untado con talco, se vierte en él parte de la muestra fluidificada, hasta pasar ligeramente el nivel de enrase.
- Ser dejará enfriar la porción asfáltica en el molde y también la placa de apoyo, para después ser colocados en el baño de agua a 25 °C por 30 min.
- Será eliminado con un cuchillo caliente el asfalto sobrante de la parte superior del molde y de nuevo se introduce todo en el baño de agua por 90 min, para que la porción asfáltica se ajuste a 25 °C.
- Será colocada en el ductilómetro la porción asfáltica sólida, quedando horizontal y con 2.5 cm de tirante de agua por encima de ella.
- Se hará romper la porción asfáltica con el mecanismo del ductilómetro, ejerciendo tensión a razón de 5 cm/min, y se registrará el desplazamiento de las mordazas como  $D_u$ .

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La ductilidad será el desplazamiento de las mordazas que se registra como  $D_u$ , en cm.

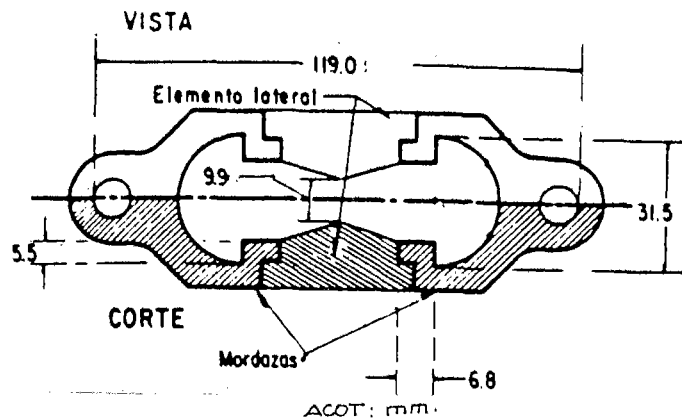


FIGURA 5.24  
MOLDE PARA OBTENER LA DUCTILIDAD

## 6. LA SOLUBILIDAD EN TETRACLORURO DE CARBONO

### a. DESCRIPCIÓN

La solubilidad es la concentración máxima de una sustancia disuelta en otra, permaneciendo ambas en equilibrio molecular. En otras palabras, es la capacidad de una sustancia llamada soluto a mezclar sus moléculas en otra llamada disolvente, para formar un compuesto homogéneo llamado disolución.

Durante la solubilidad, el soluto dispersa sus moléculas en el disolvente de manera amplia y rápida debido a una gran cantidad de fenómenos físico-químicos complejos.

Aplicada a los asfaltos, la solubilidad tiene el sentido anterior e indica el porcentaje de una porción de ellos que es mezclada en tetracloruro de carbono. Por esto se habla de solubilidad en tetracloruro de carbono.

Cualquier cemento asfáltico será de buena calidad si es totalmente soluble en tetracloruro de carbono, lo que indicará nulo contenido de sustancias sólidas.

En general, todos los cementos asfálticos contienen sustancias sólidas, que pueden afectar algunas de sus propiedades más importantes. Estas sustancias suelen ser sales, carbones asfálticos o minerales sedimentados, que siempre serán insolubles en tetracloruro de carbono y formarán impurezas sólidas, capaces de afectar la capacidad adherente del asfalto.

Las sustancias sólidas en los asfaltos quedan definidas mediante la solubilidad en tetracloruro de carbono. La aplicación es para todos los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, ocupándose para estas dos últimas categorías el residuo asfáltico por destilación.

La solubilidad en tetracloruro de carbono se obtiene disolviendo una porción de cemento asfáltico o residuo asfáltico en cierta cantidad de tetracloruro de carbono y haciendo filtrar la mezcla por una cantidad de asbesto calcinado contenida en un crisol. En el asbesto calcinado quedará toda sustancia sólida insoluble y el peso de la mezcla que haya filtrado al crisol, en porcentaje respecto del peso de la cantidad de la mezcla original, será el valor de la solubilidad en tetracloruro de carbono.

De acuerdo a lo anterior, a mayor solubilidad en tetracloruro de carbono se tendrán menores contenidos de impurezas sólidas.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Crisol Gooch porcelanizado, con diámetro superior de 44 mm, diámetro inferior de 36 mm y altura de 25 mm.
- Matraz Erlenmeyer, de 125 cm<sup>3</sup>.
- Matraz para filtración, de 50 cm<sup>3</sup> y provisto de una manguera de hule para conectarlo a la bomba de succión.
- Adaptador de neopreno, para acoplar el crisol Gooch al matraz de filtración, con 41 mm de diámetro interior y provisto de un tubo de descarga.
- Horno a 105 °C.
- Bomba de succión.
- Balanza analítica.
- Desecador de cristal, conteniendo cloruro de calcio anhidro.
- Fuente de calor, de flama abierta.
- Asbesto de fibras largas, lavado en ácido.
- Tetracloruro de carbono.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

En este caso, la muestra de cemento asfáltico será preparada en la etapa del procedimiento práctico. También, si se trata de residuo asfáltico por destilación, éste quedará preparado inmediatamente después de su obtención.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Con 25 g de asbesto desmenuzado, se hará una mezcla uniforme con 1 l de agua destilada.
- Será vertida parte de la suspensión de asbesto en el crisol del equipo previamente montado y se dejará reposar hasta que el asbesto se asiente.
- Se succionará ligeramente el agua para la formación de una capa de asbesto en el fondo del crisol, la cual, calcinada, será de 0.5 g.
- Se secará al horno la capa de asbesto en el crisol y se procederá a su calcinación mediante flama directa y hasta peso constante.
- En el desecador se dejará enfriar el asbesto calcinado en el crisol y se registrará su peso como  $W_i$ .
- Será vertido en el matraz Erlenmeyer 2 g de muestra asfáltica (cemento asfáltico o residuo asfáltico) y se registrará su peso como  $W_m$ .
- Colocado el crisol en el matraz de filtración debidamente acoplado a la bomba de succión, se humedecerá el asbesto calcinado con una pequeña cantidad de tetracloruro de carbono.
- Se hace filtrar por el asbesto calcinado la porción asfáltica contenida en el matraz y se succionará con la bomba de ser necesario.
- Será lavado con tetracloruro de carbono el contenido del crisol hasta que el disolvente salga sin color. Después se aplicará succión para eliminar los residuos de disolvente.
- Se secará al horno, a 105 °C y por 20 min, el contenido del crisol y todo será pesado (crisol, asbesto y fracción insoluble), para registrar el peso como  $W_f$ .

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

La solubilidad en tetracloruro de carbono será la parte soluble de la porción, expresada en porcentaje respecto del peso de la porción inicial, o sea:

$$S_{TC} = \left[ \frac{W_m - (W_f - W_i)}{W_m} \right] 100$$

En donde:

$S_{TC}$  es la solubilidad en tetracloruro de carbono, en %.

$W_m$  es peso de la porción asfáltica utilizada, en g.

$W_i$  es el peso del crisol conteniendo la capa de asbesto, en g.

$W_f$  es el peso del crisol conteniendo la capa de asbesto y la fracción insoluble de la porción asfáltica, en g.

## 7. LA PÉRDIDA DE PESO POR CALENTAMIENTO Y LA PENETRACIÓN RETENIDA

### a. DESCRIPCIÓN

La pérdida de peso por calentamiento es la reducción del peso de una porción de cemento asfáltico al ser calentada a 163 °C, expresada en porcentaje respecto del peso de dicha porción. Por otra parte, la penetración retenida es aquella penetración que manifiesta la porción de cemento asfáltico cuando adquiere la temperatura de 163 °C, expresada en porcentaje respecto de la penetración normal del cemento asfáltico en estudio.

Estos dos parámetros definen la calidad de los cementos asfálticos simulando el deterioro que experimentan por los agentes atmosféricos, como las altas temperaturas y las corrientes de aire. Este deterioro natural de los cementos asfálticos, cuando forman la carpeta asfáltica, es conocido como envejecimiento atmosférico y es producto de la oxidación y evaporación de sus componentes más ligeros. El efecto de estos fenómenos, en que interviene el oxígeno del aire y la temperatura ambiental elevada, se manifiesta como un endurecimiento que torna frágil al asfalto al anularse la ductilidad.

La pérdida de peso por calentamiento indica la cantidad de sustancias volátiles desprendidas de los cementos asfálticos y dependiendo de la rapidez de la separación, indicará también si han sido mezclados con algún disolvente extraño. La penetración retenida indicará la dureza adquirida por estos asfaltos al separarse sus componentes más volátiles. Esta dureza representa a la que pueden adquirir por envejecimiento atmosférico cuando forman a la carpeta asfáltica.

Al ser estudiada la calidad de los cementos asfálticos, deberá tomarse en cuenta que mayor pérdida por calentamiento indicará mayor desprendimiento de componentes ligeros y menor estabilidad del asfalto al ser parte de la carpeta asfáltica. La penetración retenida, a valores menores, indicará mayores pérdidas de peso por calentamiento y tendencia mayores de los cementos asfálticos a la dureza y fragilidad por envejecimiento prematuro.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Horno eléctrico de doble pared, a 180 °C. Su interior será de forma cúbica, con 30 cm por lado, y estará provisto de puerta con cerrado hermético, la cual tendrá una ventana de 10 cm por lado y será de doble pared de vidrio. A través de ésta se podrá leer el termómetro colocado verticalmente en el interior del horno. Además, el horno tendrá aberturas para la ventilación. También estará provisto de una plataforma metálica superior central, que podrá girar a 5 rev / min.
- Termómetro de inmersión total, de 170 °C.
- Balanza de 150 g.
- Charolas redondas, con fondo plano, de aluminio o acero inoxidable, con 14 cm de diámetro interior y 9.5 mm de altura.
- Placa de asbesto.
- Además, todo el material y equipo utilizado en la determinación de la penetración.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Será calentada una muestra de cemento asfáltico a 130 °C.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De acuerdo a la parte 8 del apéndice, será obtenida la densidad  $S_a$  del cemento asfáltico en estudio.
- Utilizando la densidad anterior, será calculado el peso de 50 cm<sup>3</sup> de cemento asfáltico y este peso corresponderá a dos porciones que serán tomadas de la muestra preparada, los cuales serán registrados como  $W_i$ .
- Usando la placa de asbesto, será calentada nuevamente cada porción con peso  $W_i$ . El calentamiento será a 163 °C, por 1 h, y se hará mientras gira la plataforma del horno a 5 rev/min.
- Enfriada al ambiente, será pesada cada porción anterior y se registra cada peso como  $W_f$ .
- Será calentada nuevamente cada porción anterior, a 163 °C y por 15 min, girando también la plataforma del horno a 5 rev/min.
- De acuerdo a la parte B.1 de este capítulo, se obtendrá la penetración para la mezcla de las dos porciones asfálticas anteriores, registrándose como  $P_f$ .
- También se tomará otra porción de la muestra preparada inicial y se obtendrá otro valor de penetración, registrándose éste como  $P_i$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para las dos porciones asfálticas calentadas a 163 °C, se calculará la pérdida de peso por calentamiento como:

$$W_c = \left( \frac{W_i - W_f}{W_i} \right) 100$$

En donde:

$W_c$  es la pérdida de peso por calentamiento, en %.

$W_i$  es el peso de cada porción asfáltica antes de ser calentadas a 163 °C, en g.

$W_f$  es el peso de cada porción asfáltica después de ser calentadas a 163 °C, en g.

El valor definitivo de la pérdida de peso por calentamiento será el promedio de los dos valores  $W_c$  anteriores.

- La penetración retenida será calculada como:

-

$$P_R = \left( \frac{P_i}{P_f} \right) 100$$

En donde:

$P_R$  es la penetración retenida, en %.

$P_i$  es la penetración de la porción tomada de la muestra preparada, en décimos de mm.

$P_f$  es la penetración de la mezcla de las dos porciones asfálticas calentadas a 163 °C, en décimos de mm.

## 8. EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN EN LOS ASFALTOS REBAJADOS

### a. DESCRIPCIÓN

Por destilación se entiende la separación de los componentes de una mezcla líquida, mediante la evaporación y posterior condensación de los mismos.

En los asfaltos rebajados, el contenido de agua por destilación es la cantidad de agua que de ellos se desprende por evaporación y se condensa después mediante un procedimiento de destilación.

Durante la destilación, la porción asfáltica es calentada en presencia de un disolvente y después de cierto tiempo de calentamiento el producto de la destilación, o sea, agua y disolvente separados, se concentra en una trampa, en donde se retiene el agua y después el disolvente circula nuevamente. Al no aumentar el volumen de agua en la trampa, la destilación termina y el volumen total de agua puede transformarse a peso si se lo multiplica por 1 g/cm<sup>3</sup>. El peso del agua así obtenido, en porcentaje respecto del peso de la porción asfáltica, será el valor del contenido de agua por destilación.

El contenido de agua por destilación califica a los asfaltos rebajados en función de la cantidad de agua que pueden contener, pues la menor cantidad de agua altera sus propiedades y causa la formación de espuma cuando son calentados para su aplicación a la carpeta asfáltica. Generalmente la espuma dificulta el calentamiento cuando el contenido de agua es superior a 5 %.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Matraz para destilación, con cuello corto y de 500 a 1000 cm<sup>3</sup>.
- Mechero a gas.
- Condensador de vidrio, de 400 mm de longitud y provisto de tubo recto y camisa para refrigeración por agua. Figura 5.26.
- Trampa de vidrio, de 10 a 25 cm<sup>3</sup>, con graduación inicial de 0.1 cm<sup>3</sup> hasta la marca de 1 cm<sup>3</sup> y, a partir de 1 cm<sup>3</sup>, que continúe con graduación a cada 0.2 cm<sup>3</sup>. Su diámetro interior será de 15 a 16 mm. Figura 5.26.
- Probeta de 100 cm<sup>3</sup>.
- Xilol industrial.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Será agitada una muestra de asfalto rebajado y sólo se calentará lo necesario cuando la agitación sea dificultosa.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- En el matraz para destilación se vierte 200 g de muestra preparada y se agrega 200 cm<sup>3</sup> de xilol. El peso de la porción vertida será registrado como  $W_m$ .
- Montado el equipo de acuerdo a la figura 5.29, se hace circular agua fría por la camisa del condensador, aplicando a la vez calor al matraz con la fuente apropiada. El calentamiento deberá producir de 2 a 5 gotas de agua destilada por segundo y será constante hasta que el volumen de agua en la trampa no aumente durante 5 min consecutivos.
- Posterior al calentamiento, el condensador podrá contener gotas de agua. En tal caso, será aumentada la temperatura al matraz y se hará una pausa en la circulación del agua por la camisa del condensador.
- Estando el agua en la trampa a la temperatura ambiente y considerando todo su volumen, se leerá en la escala el valor de éste y se registrará como  $V_m$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El contenido de agua por destilación se calculará como:

$$w_d = \left( \frac{V_w \gamma_o}{W_m} \right) 100$$

En donde:

$w_d$  es el contenido de agua por destilación, en los asfaltos rebajados, en %.

$V_w$  es el volumen de agua destilada depositada en la trampa, en  $\text{cm}^3$

$\gamma_o$  es el peso volumétrico del agua, equivalente a  $1 \text{ g/cm}^3$ .

$W_m$  es el peso de la porción asfáltica depositada en el matraz para destilación, en g.

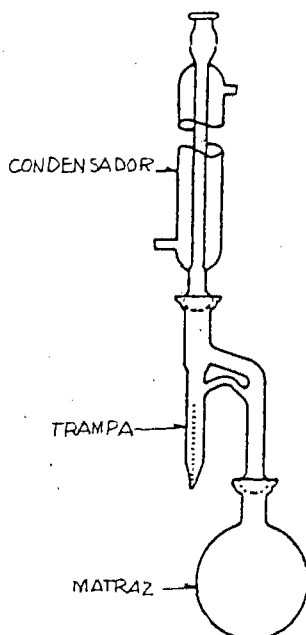


FIGURA 5.25

EQUIPO PARA OBTENER EL CONTENIDO DE AGUA EN LOS ASFALTOS REBAJADOS

### 9. LAS FRACCIONES DE DISOLVENTE DESTILADAS Y EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN, EN LOS ASFALTOS REBAJADOS

#### a. DESCRIPCIÓN

Se llama fracciones de disolventes destiladas a los volúmenes de disolvente desprendidos de una porción de asfalto rebajado cuando, por destilación, alcanza las temperaturas consecutivas de 190, 225, 260 y 315 °C. La destilación, en este caso, se prolonga hasta que la citada porción alcanza los 360 °C.

El residuo asfáltico por destilación es la fracción de asfalto que queda cuando la porción de asfalto rebajado es sometida a destilación a 360 °C y en la que se desprende la mayoría del disolvente que la compone.

Las fracciones de disolvente corresponden a gasolina, queroseno o aceite ligero, que ha sido mezclado con cemento asfáltico para producir el asfalto rebajado en estudio. El residuo asfáltico será una fracción aproximada al cemento asfáltico que ha dado origen al asfalto rebajado, pues conservará cantidad mínima de disolvente.

Al obtener las fracciones de disolventes destiladas a 190, 225, 260 y 315 °C, se busca comprobar la correcta fabricación de los asfaltos rebajados en cuanto a la cantidad de disolvente que deben llevar. También estas fracciones permitirán establecer aproximadamente la rapidez de curado de estos asfaltos, si se toma en cuenta que el inicio de la destilación corresponde al inicio del curado y el 80 % de la destilación a 360 °C corresponde al final del curado. Este juicio será tentativo, por la dificultad de simular en el laboratorio los factores que producen el curado real, como la variación de la temperatura ambiental y la velocidad del viento.

El residuo asfáltico por destilación será útil para conocer el cemento asfáltico base a partir de sus valores de penetración, ductilidad y solubilidad en tetracloruro de carbono.

Las fracciones de disolvente destiladas serán determinadas para los asfaltos rebajados FR y FM, excepto la correspondiente a 190 °C, que se obtendrá para el FR-0 y FR-1. El valor de ellas será el porcentaje de su volumen respecto al porcentaje de disolvente destilado a 360 °C.

El residuo asfáltico por destilación será obtenido para todos los asfaltos rebajados y su valor será la diferencia entre el volumen de la porción asfáltica sometida a destilación y el volumen del disolvente destilado a 360 °C.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Matraz para destilación, de 500 cm<sup>3</sup>. Estará provisto de una salida lateral y de un tapón de corcho perforado longitudinalmente. Ver la figura 5.27.
- Camisa de fierro galvanizado para el matraz anterior, cubierta por una capa de asbesto de 3 mm de espesor, y provista de ventanas protegidas con mica y de una tapa formada por dos secciones de asbesto. Ver la figura 5.27.
- Condensador de vidrio, provisto de camisa para refrigeración por agua, con 250 mm de longitud mínima. Figura 5.27.
- Extensión de vidrio, con un dobléz de 105° y diámetros de entrada y salida respectivos de 18 y 5 mm.
- Probeta de 100 cm<sup>3</sup> y graduación a cada 1 cm<sup>3</sup>. Su altura puede ser de 24.8 a 26 cm.
- Baño de agua con paredes transparentes.
- Termómetro de inmersión total, de -2 a 400 °C.
- Vaso de aluminio de 1 l.
- Cápsulas metálicas con diámetro de 76 mm y altura de 54 mm.
- Dos soportes de barra vertical, con sus bases.
- Dos porciones de malla metálica 0.850, con 20 cm por lado.
- Papel secante.
- Placa de apoyo, con chimenea inferior.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Será calentada una muestra de asfalto rebajado para tomar de ella 500 g.
- Considerando la densidad del asfalto rebajado, obtenida según la parte 8 del apéndice, será calculado el peso de 200 cm<sup>3</sup> de asfalto rebajado y será registrado como W.
- De los 500 cm<sup>3</sup> del asfalto rebajado, será tomada una porción cuyo peso sea W.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Con la porción asfáltica de peso W, depositada en el matraz para destilación, se procederá como sigue:
- Para altitudes mayores a 150 m, las temperaturas de 190, 225, 260, 315 y 360 °C serán corregidas de acuerdo a la tabla 5.4, y esos nuevos valores registrarán en el procedimiento práctico. En caso contrario se continuará de acuerdo a lo siguiente:
- Se hará circular agua por el refrigerante y se aplicará calor al matraz procurando que de inmediato se produzca la primera gota destilada que, al caer, permitirá registrar la temperatura leída del termómetro.
- Se continuará aplicando calor al asfalto en el matraz, bajo las siguientes restricciones: Destilará de 50 a 70 gotas/min durante el lapso que se alcanza los 260 °C y de 20 a 50 gotas/min en el siguiente lapso en que se alcanza los 315 °C; además, no pasará más de 10 min en cambiar la temperatura de 315 a 360 °C.
- Durante la destilación, de la graduación de la probeta será leído el volumen destilado al indicar el termómetro los valores sucesivos de 190, 225, 260, 315 y 360 °C. Estos volúmenes serán registrados como V<sub>190</sub>, V<sub>225</sub>, V<sub>260</sub>, V<sub>315</sub> y V<sub>360</sub>, respectivamente.
- Alcanzados los 360 °C, la destilación terminará cortándose el suministro de calor y permitiéndose que el volumen V<sub>360</sub> incluya todo el escurrimiento destilado del condensador.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

Las fracciones de disolvente destiladas serán los volúmenes V<sub>190</sub>, V<sub>225</sub>, V<sub>260</sub> y V<sub>315</sub>, en % respecto del volumen V<sub>360</sub>.

El residuo asfáltico por destilación será el material que queda en el matraz después de la destilación, y será obtenido restando del volumen de la porción de asfalto, o sea los 200 cm<sup>3</sup>, el volumen del destilado total, o sea, el volumen V<sub>360</sub>. Este resultado será expresado en porcentaje respecto de los 200 cm<sup>3</sup> de la porción de asfalto. Así, tendremos que:

$$RAR = \left( \frac{200 - V_{360}}{200} \right) 100$$

En donde:

$R_{AR}$  es el residuo asfáltico por destilación, en los asfaltos rebajados, en %.  
 $V_{360}$  es el volumen total disolvente destilado a 360 °C, en  $cm^3$ .

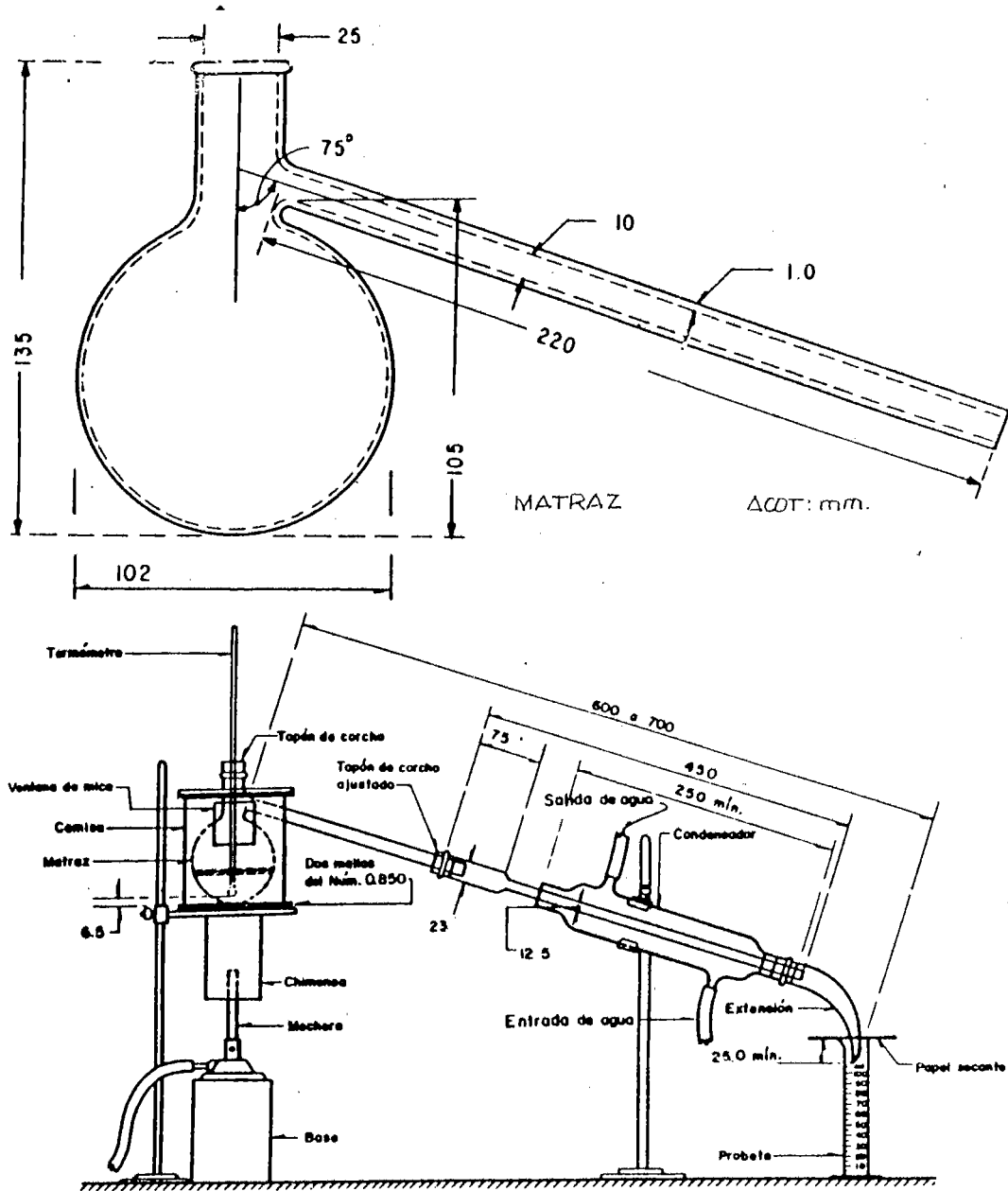


FIGURA 5.26  
 EQUIPO PARA DESTILACIÓN DE ASFALTOS REBAJADOS



ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR, EN m.	TEMPERATURAS CORREGIDAS CORRESPONDIENTES A LAS NOMINALES, EN °C.				
0	190	225	260	315	360
152	189	224	259	314	359
305	189	224	258	313	358
457	188	223	258	312	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	311	355
914	186	220	255	310	354
1067	185	220	254	309	353
1219	184	219	254	308	352
1372	184	218	253	307	351
1524	183	218	252	306	350
1676	182	217	251	305	349
1829	182	216	250	305	349
1981	181	215	250	304	348
2134	180	215	249	303	347
2286	180	214	248	302	346
2438	179	213	248	301	345

TABLA 5.4  
TEMPERATURAS CORREGIDAS PARA DIFERENTES ALTITUDES

## 10. EL RESÍDUO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 100

### a. DESCRIPCIÓN

El residuo asfáltico de penetración 100 es la fracción asfáltica que queda como residuo al ser calentada una porción de asfalto rebajado FL a 260 °C y cuya penetración es igual a 100. Éste es menos consistente que el residuo asfáltico por destilación y se obtiene por la simple evaporación parcial del disolvente contenido en el asfalto FL.

El residuo asfáltico de penetración 100 permite conocer la viscosidad por flotación en los asfaltos rebajados FL y también define la calidad en ellos en términos de su correcto contenido de cemento asfáltico.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Vaso de aluminio de 1 l.
- Balanza de 2 Kg.
- Camisa de fierro fundido. Figura 5.28.
- Placa metálica, para apoyar la camisa.
- Mechero a gas.
- Termómetro de inmersión parcial, de -4 a 400 °C.
- Soporte metálico.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará una muestra de asfalto rebajado FL, para depositar 500 g de ella en el vaso de aluminio.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se calienta ligeramente la porción asfáltica en el vaso y se vacía 100 g de ella en la cápsula utilizada para la determinación de la penetración, registrándose este peso como  $W_i$ .
- La porción de prueba anterior es colocada en el equipo de destilación previamente montado de acuerdo a la figura 5.28.
- Se coloca el termómetro en su soporte, debiendo quedar verticalmente centrado a la cápsula y con su bulbo separado 6.3 mm del fondo de la misma.
- Con el mechero se aplicará calor a la placa que soporta la cápsula en la camisa hasta que la porción de prueba adquiera 249 °C, debiéndose mantener a esta temperatura y en agitación.
- Cuando por experiencia se considere que por evaporación del disolvente la porción de prueba haya adquirido la penetración 115, se detendrá la prueba, se registrará el peso del residuo en la cápsula como  $W_R$  y se determinará su penetración como indica la parte B.1 de este capítulo.
- Si la penetración obtenida resulta mayor a 115, se repetirá lo anterior, desde la aplicación de calor a la placa que soporta la cápsula en la camisa hasta la determinación de la penetración del residuo. Se harán las repeticiones necesarias hasta que la penetración se ubique entre 100 y 115, la que deberá registrarse como  $P_1$  y el peso correspondiente del residuo asfáltico será registrado como  $W_1$ .
- Con el residuo anterior también se repetirá el procedimiento hasta obtener una penetración ubicada entre 85 y 100. La penetración así obtenida será registrada como  $P_2$  y el peso del residuo correspondiente será registrado como  $W_2$ .
- Cuando en los primeros intentos la penetración sea ubicada entre 85 y 100 y no entre 100 y 115, se tomará una nueva porción de prueba de los 500 g de asfalto y se repetirá el procedimiento práctico, desde su inicio hasta la determinación de la penetración, las veces necesarias hasta obtener el valor entre 100 y 115.
- También, cuando la penetración en el primer intento sea de 85, se repetirá el procedimiento práctico usando una nueva porción de prueba.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

Con respecto al peso  $W_i$ , de la porción inicial, se calcularán los porcentajes de los pesos  $W_1$  y  $W_2$  de las porciones residuales y se registrarán éstos como  $R_1$  y  $R_2$ , respectivamente. Luego será trazada una recta, a escala aritmética, que tenga por ordenadas los residuos  $R_1$  y  $R_2$  y por abscisas las penetraciones respectivas  $P_1$  y  $P_2$ . De esta recta, ubicando la penetración 100 en el eje de las abscisas, se podrá conocer el porcentaje de residuo correspondiente. Éste residuo será registrado como  $R_{100}$  y será el residuo asfáltico de penetración 100. Ver la figura 5.29.

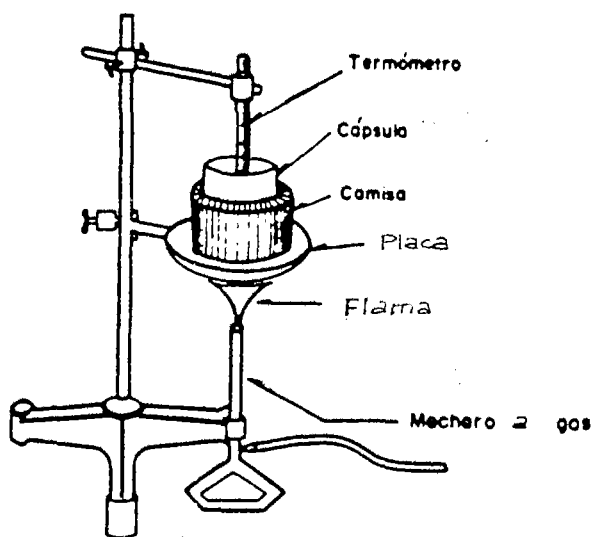


FIGURA 5.27  
EQUIPO PARA LA OBTENCIÓN DEL RESIDUO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 100

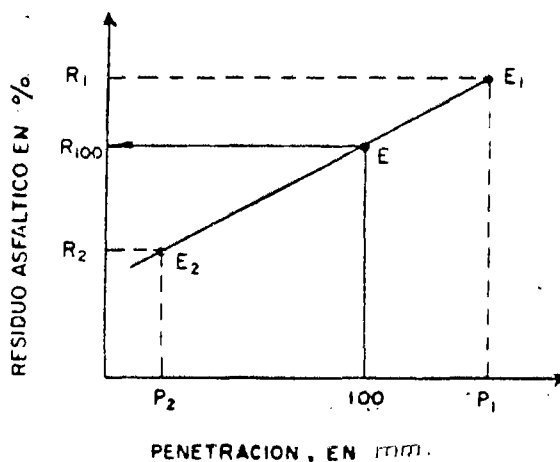


FIGURA 5.28  
INTERPOLACIÓN GRÁFICA PARA DETERMINAR EL RESIDUO ASFÁLTICO DE PENETRACIÓN 100

## 11. EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN Y EL CONTENIDO DE DISOLVENTE, EN LOS ASFALTOS EMULSIONADOS

### a. DESCRIPCIÓN

En los asfaltos emulsionados, el residuo asfáltico por destilación es la porción residual obtenida cuando cierta cantidad de asfalto emulsionado es sometida a destilación a 260 °C y de la cual se desprenden los componentes más volátiles.

En la obtención de este residuo se produce la evaporación y condensación del agua y del disolvente que forman parte de la muestra y la cantidad de disolvente así obtenida es el contenido de disolvente del asfalto emulsionado.

Respecto a lo anterior diremos que la fabricación de los asfaltos emulsionados RR-2K, RR-3K, RM-2K y RM-3K incluye cantidades específicas de asfalto rebajado que contiene disolvente.

El residuo asfáltico por destilación permite conocer la calidad de los asfaltos emulsionados a partir de la penetración, la ductilidad y la solubilidad en tetracloruro de carbono. Con estos parámetros, el residuo asfáltico por destilación considera la calidad y cantidad del cemento asfáltico base usado en la fabricación del asfalto emulsionado en estudio.

El contenido de disolvente se aplica también a los asfaltos emulsionados RR-2K, RR-3K, RM-2K y RM-3K, para la verificación de la cantidad de disolvente que por norma debe regir la fabricación de estos productos en relación a su manejo en la obra, pues una cantidad elevada de disolvente provocará un rompimiento lento por el mayor tiempo de evaporación del disolvente excedente, situación que no será aceptable en la construcción de la carpeta asfáltica.

Aquí, el residuo asfáltico por destilación se obtendrá en porcentaje respecto del peso de la porción asfáltica sometida a destilación a 260 °C, en tanto que el contenido de disolvente se obtendrá en porcentaje respecto del volumen de la misma porción.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Alambique cilíndrico. Figura 5.30.
- Quemador anular, a gas.
- Unidad de condensación, formada por un adaptador, un tubo de conexión con camisa de lámina y un refrigerante recto.
- Probeta de 100 cm<sup>3</sup>.
- Termómetros de inmersión total, de -2 a 300 °C.
- Mechero Bunsen.
- Malla 0.300.
- Balanza de 3500 g.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará una muestra de asfalto emulsionado y así se dispondrá para la siguiente etapa.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Conociendo el peso del alambique conteniendo los termómetros, se vacía en él 200 g de asfalto emulsionado y será obtenido el peso total para ser registrado como  $W_i$ .
- Se ordenan los termómetros para que uno quede separado 604 mm y el otro 165.1 mm, ambos respecto del fondo del alambique.
- Con la flama baja del calentador anular será calentado el asfalto en el alambique y se registrará el tiempo de inicio del calentamiento. Después, utilizando el mechero Bunsen, se aplicará calor suficiente a la base del alambique para evitar la condensación del agua al interior y al mismo tiempo se hará circular agua fría por el refrigerante.
- Si hubiere variación brusca de temperatura en el asfalto, indicará formación de espuma hasta niveles altos del alambique, la que será disminuida bajando el calor suministrado por ambas fuentes.
- Cuando pueda leerse la temperatura del asfalto, será colocado el quemador anular en la parte más baja del alambique y será aumentada la temperatura hasta 260 °C, siendo constante por 15 min. Después será suprimida la aplicación de calor de ambas fuentes.
- De nuevo se obtendrá el peso del alambique con su contenido y será registrado como  $W_r$ . Se obtendrá también, de la graduación de la probeta, el volumen del nivel superior del agua y el volumen del nivel superior del disolvente destilado, que serán visibles porque el agua ocupará el fondo de la probeta por su mayor peso volumétrico. Estos volúmenes serán registrados como  $W_w$  y  $W_d$ , respectivamente.
- De acuerdo a la parte 8 del apéndice, se obtendrá la densidad  $S_a$  del asfalto emulsionado.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El residuo asfáltico por destilación se obtendrá restando de los 200 g de la porción asfáltica la diferencia entre los pesos inicial y final del conjunto alambique-accesorios-porción asfáltica. El resultado será expresado en porcentaje respecto de los 200 g de la porción asfáltica. Así, el residuo asfáltico por destilación corresponderá a la siguiente expresión:

$$R_D = \left[ \frac{200 - (W_i - W_r)}{200} \right] 100$$

En donde:

$R_D$  es el residuo asfáltico por destilación, en los asfaltos emulsionados, en %.

$W_i$  es el peso del alambique con los accesorios y la porción asfáltica, antes de la destilación, en g.

$W_r$  es el peso del alambique con los accesorios y el residuo asfáltico, después de la destilación, en g.

El contenido de disolvente será obtenido en porcentaje respecto de los 200 g de la porción asfáltica y corresponderá a la siguiente fórmula:

$$D = \left[ \frac{(V_d - V_w) S_a \gamma_o}{200} \right] 100$$

En donde:

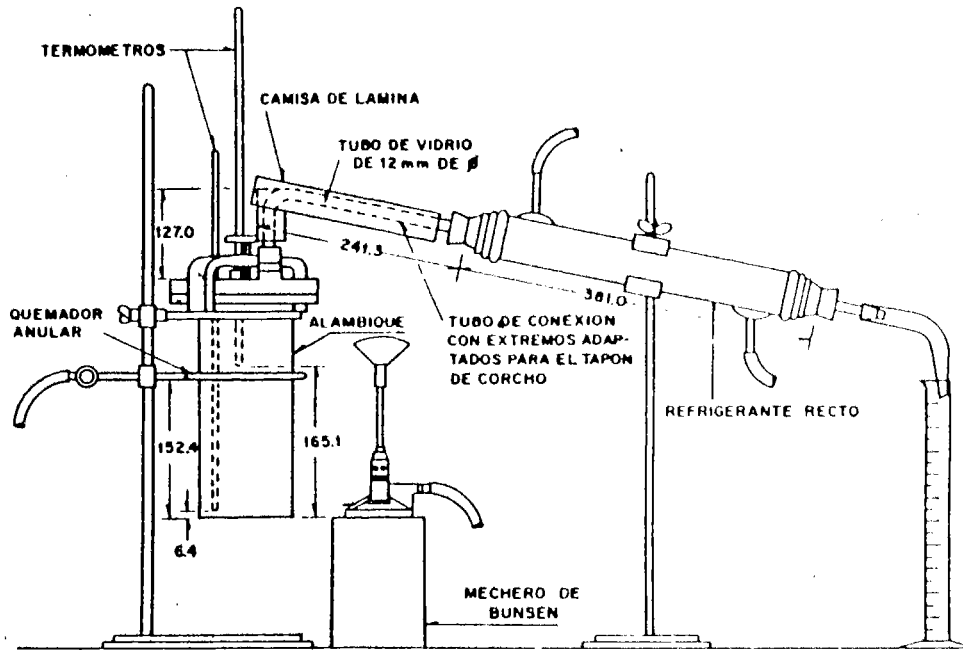
$D$  es el contenido de disolvente, en %.

$V_d$  es el volumen leído en la probeta, correspondiente al nivel superior del disolvente destilado, en  $\text{cm}^3$ .

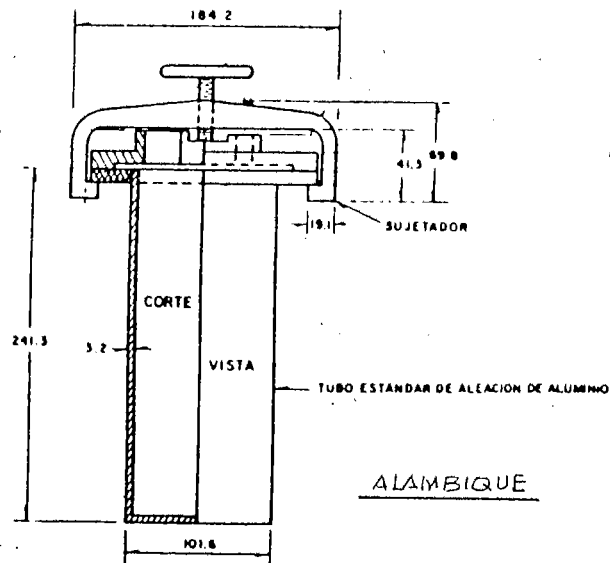
$V_w$  es el volumen leído en la probeta, correspondiente al nivel del agua destilada, en  $\text{cm}^3$ .

$S_a$  es la densidad del asfalto emulsionado, adimensional.

$\gamma_o$  es el peso volumétrico del agua, equivalente a 1  $\text{g}/\text{cm}^3$ .



ACOT: mm.



ALAMBIQUE

FIGURA 5.29  
EQUIPO PARA OBTENER EL RESIDUO ASFÁLTICO POR DESTILACIÓN Y EL CONTENIDO DE DISOLVENTE, EN LOS ASFALTOS EMULSIONADOS

## 12. LA SEDIMENTACIÓN EN 5 DÍAS

### a. DESCRIPCIÓN

Aquí, por sedimentación se entiende la separación y precipitación de las partículas suspendidas de un líquido en reposo, que tienden a depositarse en el fondo por la acción de la gravedad.

El almacenamiento prolongado de los asfaltos emulsionados propicia la sedimentación, debido a que las partículas de asfalto caen al fondo del depósito. La sedimentación se torna perjudicial porque produce concentración excesiva de cemento asfáltico en la parte inferior del asfalto emulsionado en reposo, lo que altera su homogeneidad y produce rompimiento prematuro.

A fin de evitar la sedimentación y saber si la fabricación de los asfaltos emulsionados consideró partículas asfálticas adecuadas a una suspensión prolongada, se aplica un procedimiento que consiste en depositar cierta cantidad de asfalto emulsionado en una probeta graduada para dejarla reposar por 5 días. Después se tomará de la superficie y del fondo de la porción asfáltica una cantidad de material, para conocer de ambas el residuo asfáltico por evaporación de acuerdo a la parte 9 del apéndice, y la diferencia entre ellos será el valor de la sedimentación en 5 días.

Como vemos, la sedimentación en 5 días es un índice que permite verificar la disposición de los asfaltos emulsionados a ser almacenados por tiempos prolongados sin que las partículas asfálticas se asienten en el fondo formando sedimento.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Dos probetas de vidrio, de 500 cm<sup>3</sup> y diámetro de 50 mm. Estarán provistas de tapa de vidrio.
- Pipeta de vidrio, de 60 cm<sup>3</sup>.
- Además, todo lo que se requiere para la determinación del residuo asfáltico por evaporación.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará una muestra de asfalto emulsionado para hacerla homogénea.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De la muestra preparada se vacía 500 cm<sup>3</sup> en cada una de las dos probetas y se dejan reposar por 5 días permaneciendo tapadas.
- De la parte superior del asfalto en cada probeta se extraerá 55 cm<sup>3</sup> de material. Cada fracción será agitada y ajustada a 50 cm<sup>3</sup>, para la determinación del residuo asfáltico por evaporación de acuerdo a la parte 9 del apéndice.
- Del material en cada probeta se eliminará 390 cm<sup>3</sup> sin mover la cantidad restante inferior, de la que se extraerá 50 cm<sup>3</sup> para obtener dos nuevos residuos asfálticos por evaporación.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

Se calculará el promedio de los valores de residuo asfáltico para la fracción superior del material de ambas probetas y se registrará como  $R_s$ , en %. De la misma manera se calculará el promedio de los valores de residuo asfáltico correspondientes a la fracción inferior del material de ambas probetas y se registrará como  $R_i$ , en %.

El asentamiento en cinco días será la diferencia entre los valores  $R_i$  y  $R_s$ . Así, tendremos que:

$$A_5 = R_i - R_s$$

En donde:

$A_5$  es el asentamiento en 5 días, en %.

$R_i$  es el promedio de los dos residuos asfálticos correspondientes a la fracción inferior del material en las probetas, en %.

$R_s$  es el promedio de los dos residuos asfálticos correspondientes a la fracción superior del material en las probetas, en %.

## 13. LA DESEMULSIBILIDAD

### a. DESCRIPCIÓN

La desemulsibilidad mide la relativa resistencia al rompimiento que los asfaltos emulsionados presentan al ser mezclados con determinada cantidad de cloruro de calcio. Indica, por lo tanto, la rapidez o lentitud del rompimiento en el sentido reversible de la emulsificación.

Puesto que el rompimiento de un asfalto emulsionado es la unión gradual de los glóbulos asfálticos por la evaporación de la fase acuosa, la desemulsibilidad, al considerar una solución química que coagula y une los glóbulos asfálticos, indicará cuánto puede tardar en completarse el rompimiento.

En la práctica, la desemulsibilidad sirve para conocer si los asfaltos emulsionados RR-1, RR-2 y RM-2 pueden retardar su rompimiento para la adecuada unión de las partículas del agregado pétreo en la construcción de la carpeta asfáltica.

La desemulsibilidad se determina mezclando una cantidad de asfalto emulsionado con otra de solución cloruro de calcio. Al pasar esta mezcla por la malla 1.40, quedarán en retención los glóbulos unidos por la solución química y el peso de este retenido, en porcentaje respecto del residuo asfáltico por destilación, será el valor de la desemulsibilidad.

La desemulsibilidad no es una propiedad intrínseca de los asfaltos emulsionados, pero sí mide la calidad en función del conocimiento aproximado del rompimiento, lo cual permite la programación de su aplicación en la obra.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Tres tramos de malla metálica 1.40, de 15 x 15 cm.
- Tres vasos de aluminio, de 600 cm<sup>3</sup>.
- Tres varillas de vidrio, con extremo redondeado y diámetro de 8 mm.
- Bureta de vidrio, de 50 cm<sup>3</sup>.
- Solución dos centésimos normales (0.02N) de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), que se prepara disolviendo 1.11 g de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) en 1 l de agua destilada.
- Solución décimo normal (0.10N) de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>), que se prepara disolviendo 5.55 g de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) en 1 l de agua destilada.
- Balanza de 2 Kg.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Con una varilla de vidrio se agitará una muestra de asfalto emulsionado.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se formarán tres grupos, cada uno conteniendo un tramo de malla, un vaso de aluminio y una varilla de vidrio, y se obtendrá el peso de cada grupo, registrándose como W<sub>1</sub>.
- Se vierte en cada vaso de aluminio 100 g de la muestra preparada y se ajusta su temperatura a 25 °C.
- Tratándose de asfaltos emulsionados RR-1 y RR-2, se agregará a cada vaso 35 cm<sup>3</sup> de solución dos centésimos normales de cloruro de calcio y para el asfalto emulsionado RM-2 se agregará 50 cm<sup>3</sup> de solución décimo normal de cloruro de calcio. La solución tendrá la misma temperatura que el asfalto en el vaso y deberá ser agitada la mezcla hasta que sea uniforme.
- Para cada grupo, se eliminará la parte líquida de la mezcla en el vaso y lo que haya quedado será lavado con agua destilada. El lavado se hará mediante la malla respectiva, debiéndose romper los grumos con la varilla de vidrio respectiva.
- La fracción en cada vaso será secada a 163 °C y hasta peso constante.
- Se pesará de nuevo cada grupo y se registrará el peso como W<sub>2</sub>.
- Utilizando la misma muestra preparada, será determinado el residuo asfáltico por destilación de acuerdo a la parte B.11 de este capítulo.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para cada grupo se calculará la diferencia de los pesos W<sub>2</sub> y W<sub>1</sub>, lo cual significa obtener el peso de la respectiva fracción lavada contenida en el vaso. Así, tendremos que:

$$W_L = W_2 - W_1$$

En donde:

W<sub>L</sub> es el peso de la fracción lavada en cada vaso, en g.

W<sub>2</sub> es el peso de cada grupo integrado por el vaso y su fracción lavada, la varilla y el pedazo de malla, en g.

W<sub>1</sub> es el peso de cada grupo integrado por el vaso vacío, la varilla y el pedazo de malla, en g.

- Se calculará el promedio de los tres valores W<sub>L</sub> obtenidos y se registrará como W<sub>LP</sub>, en g.

- La desemulsibilidad del asfalto emulsionado se calculará como:

$$D_s = \left( \frac{W_{LP}}{R_D} \right) 100$$

En donde:

D<sub>s</sub> es la desemulsibilidad, en %.

W<sub>LP</sub> es el peso promedio de la fracción asfáltica lavada, en g.

R<sub>D</sub> es el residuo asfáltico por destilación, del asfalto emulsionado, en %.

## 14. EL RETENIDO EN LA MALLA 0.850

### a. DESCRIPCIÓN

El retenido en la malla 0.850 es la cantidad de asfalto emulsionado que no pasa la malla 0.850, debido a sus glóbulos relativamente grandes.

Este parámetro es útil para evaluar la correcta emulsificación, pues estos asfaltos serán de buena calidad siempre que su emulsificación considere glóbulos con diámetros inferiores a 0.850 mm.

Pero no sólo por mala fabricación los asfaltos emulsionados adquieren glóbulos superiores a 0.850 mm, pues posteriormente pueden adquirirlos por coagulación. Si esto ha sucedido, habrá distribución irregular de asfalto al ser construida la carpeta asfáltica, quedando así predispuesta a fallas estructurales, por la insuficiente aglutinación de los agregados pétreos en ciertas zonas.

Este parámetro también permite establecer la eficiente aplicación de los asfaltos emulsionados mediante los distribuidores a presión, pues pequeñas cantidades con glóbulos mayores son suficientes para tapan las perforaciones del distribuidor.

Este parámetro se aplicará a cualquier asfalto emulsionado y su valor será el peso de la fracción retenida que se obtenga al pasar una porción asfáltica por la malla 0.850, expresándose éste en porcentaje respecto del peso de dicha porción.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Malla 0.850.
- Fondo para la malla.
- Vaso de precipitado, de vidrio o aluminio, de 1000 cm<sup>3</sup>.
- Solución de oleato de sodio al 2 %, que será preparada disolviendo 2 g de oleato de sodio en 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada.
- Balanza de 2 Kg.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará la muestra de asfalto emulsionado, sin que haya formación de burbujas.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se obtendrá el peso de la malla 0.850 con su fondo y se registrará como  $W_1$ .
- Se hará pasar 100 g de la muestra preparada por la malla 0.850, lavándose bien el vaso con oleato de sodio y vertiendo la solución de lavado en dicha malla. También será lavada la fracción retenida hasta que el oleato de sodio salga limpio.
- La fracción retenida en la malla será secada al horno, a 105 °C y por 12 h, y se dejará enfriar a la temperatura ambiental.
- Se pesará la malla con su fondo y la fracción retenida y se registrará el peso como  $W_2$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

El retenido en la malla 0.850 será el peso de la fracción asfáltica retenida en esta malla, en porcentaje respecto de los 100 g de muestra preparada, o sea:

$$R_t = \left( \frac{W_2 - W_1}{100} \right) 100$$

En donde:

$R_t$  es el retenido en la malla 0.850, en %.

$W_2$  es el peso de la malla conteniendo la fracción asfáltica retenida y su fondo, en g.

$W_1$  es el peso de la malla conteniendo su fondo, en g.

## 15. LA MISCIBILIDAD CON CEMENTO PORTLAND

### a. DESCRIPCIÓN

Por miscibilidad se entiende la cualidad de mezclado de dos sustancias afines.

Particularmente la miscibilidad con cemento Portland es la cualidad de los asfaltos emulsionados a ser mezclados con cemento Portland tipo III y permite conocer la facultad aglutinante que pueden desarrollar estos asfaltos al ser mezclados con agregados pétreos cuya granulometría admita mínimas cantidades de partículas finas. Este parámetro también es útil para conocer la estabilidad al rompimiento, cuando en la mezcla se utilicen agregados con partículas tan finas como el cemento. Esto último se logra determinando la resistencia que los glóbulos asfálticos oponen a la coagulación, por la adición de electrólitos, la deshidratación del asfalto emulsionado y la mezcla de éste con el cemento Portland tipo III.



La miscibilidad con cemento Pórtland se aplicará a los asfaltos emulsionados RL-1, RL-2, RL-2K y RL-3K y su valor será determinado haciendo pasar una mezcla líquida de asfalto emulsionado y cemento Pórtland tipo III por la malla 1.40, en donde quedará retenida cierta fracción de la mezcla que será sometida a secado total. El peso de esta fracción seca, en porcentaje respecto de la cantidad de asfalto utilizado en la mezcla, será el valor de la miscibilidad con cemento Pórtland.

Ya que este parámetro representa cierta cantidad de cemento que no es afín a la adherencia con el asfalto emulsionado, la calidad tomará en cuenta que valores mayores de miscibilidad con cemento Pórtland indicarán menores adherencias de los asfaltos emulsionados al ser mezclados con agregados pétreos que contengan cantidades pequeñas de partículas finas.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Mallas 0.180 y 1.40, con fondo.
- Recipiente metálico y cilíndrico, de 500 cm<sup>3</sup>
- Varilla metálica con extremo redondeado y diámetro de 13 mm.
- Probeta de vidrio, de 100 cm<sup>3</sup>.
- Balanza de 500 g.
- Cemento Pórtland tipo III.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra agitada de asfalto emulsionado RL, se obtendrá 200 g, que serán diluidos en la cantidad de agua necesaria para la obtención del residuo asfáltico igual a 55 %. Esta cantidad de agua se obtendrá previamente, sometiendo otros 200 g de material a la determinación del residuo asfáltico por evaporación, de acuerdo a la parte 9 del apéndice.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Por la malla 0.180, se hará pasar 50 g de cemento Pórtland tipo III para ser depositados en el recipiente metálico.
- Se ajustará a 25 °C la temperatura de la porción asfáltica diluida en agua y también la temperatura de la porción de cemento Pórtland que pasa la malla 0.180.
- A la porción de cemento Pórtland en el recipiente se agregará 100 g de la porción asfáltica diluida en agua y se agitará la mezcla con la varilla a 60 rev/min. Pasado 1 min de agitación, se agregará a la mezcla 130 cm<sup>3</sup> de agua destilada y continuará la agitación por 3 min más.
- Será pesada la malla 1.40 con su fondo y su peso será registrado como W<sub>1</sub>.
- Se vierte sobre la malla 1.40 la mezcla anterior y la fracción retenida será lavada sobre esta misma malla.
- La fracción retenida anterior será secada al horno a 163 °C y hasta peso constante, y el peso final, que incluirá a la malla 1.40 y su fondo, será registrado como W<sub>2</sub>.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La miscibilidad con cemento Pórtland será la cantidad de la mezcla retenida en la malla 1.40, expresada en porcentaje respecto de los 100 g de la porción asfáltica inicial, o sea:

$$M = \left[ \frac{W_2 - W_1}{100} \right] 100$$

En donde:

M es la miscibilidad con cemento Pórtland, en %.

W<sub>1</sub> es el peso de la malla conteniendo su recipiente de fondo, en g.

W<sub>2</sub> es el peso de la malla conteniendo el material retenido y su fondo, en g.

## 16. EL CUBRIMIENTO DEL AGREGADO

### a. DESCRIPCIÓN

El cubrimiento del agregado es similar al cubrimiento con asfalto, aplicado este último al material pétreo para la carpeta asfáltica.

Este parámetro mide la adherencia de los asfaltos emulsionados RM-2K y RM-3K, entendiéndose ésta como la oposición al desprendimiento que estos asfaltos manifiestan al entrar en contacto con los minerales del agregado pétreo.

Pero medir la adherencia a partir de la fuerza de desprendimiento de una película asfáltica en contacto con una partícula de agregado pétreo es por demás imposible, pues, aún cuando la adherencia sea muy pequeña, la rotura de la película asfáltica se producirá antes del desprendimiento total. Por esto, el cubrimiento del agregado determina la adherencia en función de la resistencia de la película asfáltica y en ningún caso contempla el desprendimiento provocado por una fuerza de tensión.

La adherencia no es cualidad intrínseca total de los asfaltos, sino que en ella intervienen ciertas propiedades de las partículas del agregado pétreo, como se menciona en seguida:

Si se considera una partícula de agregado pétreo en contacto con cierta cantidad de asfalto emulsionado y que además es afectada por cierta cantidad de agua que no forma parte del asfalto, sino que procede del exterior o de la propia partícula humedecida, se tendrá un conjunto de tres fases: El agua, la película asfáltica y la partícula del agregado pétreo (figura 5.31).

Estas tres fases convergen en un punto M, en donde se desarrollan tres esfuerzos: El de tensión interfacial partícula-agua  $\sigma_{pw}$ , el de tensión interfacial agua-asfalto  $\sigma_{wa}$  y el de tensión interfacial asfalto-partícula  $\sigma_{ap}$ .

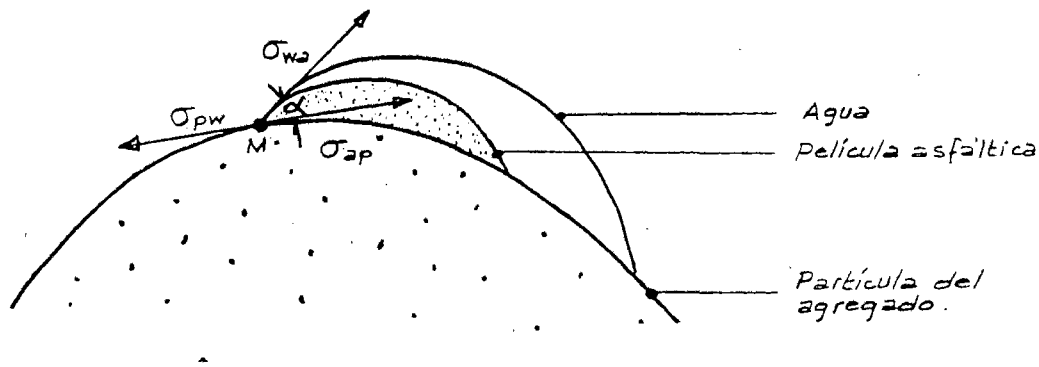


FIGURA 5.30  
FASES QUE PARTICIPAN EN EL CUBRIMIENTO DEL AGREGADO

Cuando estos esfuerzos satisfacen el equilibrio, o sea, cuando  $\sigma_{pw} = \sigma_{ap} + \sigma_{wa} \cos \alpha$ , el punto M estará inmóvil y la partícula cubierta con asfalto permanecerá sin cambio. Por el contrario, cuando no haya equilibrio, el punto M cambiará su posición sobre la superficie de la partícula, provocando que la película asfáltica se contraiga o extienda sobre ella o que sea desprendida por la acción del agua. Si el desequilibrio es apropiado para que la película asfáltica desplace al agua y se extienda sobre la superficie de la partícula, entonces la película asfáltica podrá cubrir totalmente a la partícula y la adherencia interfacial asfalto-partícula será más o menos resistente, dependiendo de la composición química del agregado y de los componentes del asfalto emulsionado. Bajo estas condiciones, la máxima adherencia tendrá lugar cuando determinadas moléculas de asfalto reaccionen químicamente con las moléculas minerales del agregado pétreo, dando origen a composiciones moleculares no afectadas por el agua y que formarán el enlace interfacial asfalto-partícula. Por otra parte, si el desequilibrio favoreciera al agua, por su lenta evaporación u otro motivo, al finalizar el rompimiento de la película asfáltica habrá deficiente adherencia entre el asfalto y la partícula del agregado pétreo, debido a que el rompimiento se completa posterior al desequilibrio.

Por lo anterior se concluye que la deficiente adherencia entre asfaltos emulsionados y agregados pétreos es mayormente provocada por el agua del exterior.

El cubrimiento del agregado permitirá conocer con qué facilidad el asfalto emulsionado puede cubrir eficientemente al agregado pétreo cuando haya condiciones exteriores de humedad.

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Recipiente metálico y cilíndrico, esmaltado en blanco, con borde bajo y de 3 l.
- Espátula de 5 cm de ancho por 15 cm de largo.
- Mallas 19.0 y 4.75.

- Dispositivo para riego, con carga hidráulica de 77.5 cm .Figura 5.32.
- Termómetro de inmersión total, de -2 a 80 °C.
- Balanza de 1000 g.
- Pipeta de 10 cm<sup>3</sup>.
- Agua destilada.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará la muestra de asfalto emulsionado sin que presente formación de burbujas.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De una muestra de agregado pétreo se tomará, por cuarteo, 100 g de material que pase la malla 19.0 y sea retenida en la malla 4.75. De esta porción se tomará 465 g de material, para ser calentados a 25 °C y ser depositados en el recipiente metálico.
- Estando a 25 °C la muestra de asfalto emulsionado, se agregará 35 g a la porción pétreo del recipiente metálico y se hará mezclar ambos materiales por 5 min. Después será eliminado el asfalto sobrante.
- Sobre una hoja de papel absorbente será depositada la mitad de la mezcla y por observación será calculado el cubrimiento del agregado obteniendo para cada partícula la cantidad de superficie que presenta adherencia de asfalto y expresando la suma de estas cantidades en porcentaje respecto del total de superficies de todas las partículas.
- A la otra mitad de la mezcla en el recipiente, se aplicará un pequeño riego de agua desde 14 cm de altura, hasta que el agua residual salga clara.
- La porción lavada anterior será colocada sobre una hoja de papel absorbente y será calculado el cubrimiento del agregado obteniendo para cada partícula la cantidad de superficie que presenta adherencia de asfalto y expresando la suma de estas cantidades en porcentaje respecto del total de superficies de todas las partículas. También se estimará el cubrimiento de las partículas del agregado cuando esta porción lavada se haya secado al ambiente.
- Del resto de la porción de agregado pétreo, se tomará otros 465 g para ser vaciados en el recipiente metálico limpio. Se agregará 3 cm<sup>3</sup> de agua destilada al recipiente y, estando el agregado pétreo húmedo, será repetido lo anterior para obtener tres valores más del cubrimiento del agregado.

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

El cubrimiento del agregado tendrá dos resultados: El menor valor de los tres obtenidos para las condiciones seca y húmeda del agregado. Éstos serán registrados respectivamente como  $C_s$  y  $C_H$ , en %.

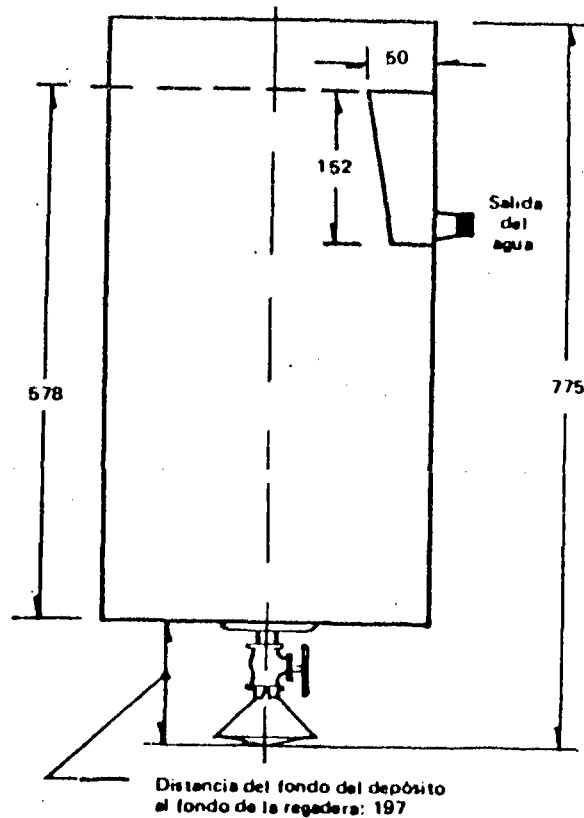


FIGURA 5.31  
DISPOSITIVO PARA RIEGO

## 17. LA CARGA ELÉCTRICA DE LA PARTÍCULA

### a. DESCRIPCIÓN

Para definir la carga eléctrica de la partícula es necesario tratar la composición del asfalto emulsionado.

En una emulsión participan básicamente dos sustancias no miscibles entre sí, dispersándose una en la otra en forma de partículas o glóbulos diminutos, llamándose a la primera fase dispersa y a la segunda fase continua.

En los asfaltos emulsionados las sustancias participantes son el agua y algún cemento asfáltico. Mediante agitación y a gran temperatura, el asfalto se dispersa en el agua formando glóbulos pequeños y finalizada la agitación la dispersión cesa, uniéndose los glóbulos entre sí para formar una masa asfáltica separada del agua. Para lograr la dispersión constante por un tiempo prolongado, es necesario agregar a la mezcla un tercer componente llamado emulgente, que actuará como fase intermedia entre el agua y los glóbulos asfálticos.

En la fabricación de asfaltos emulsionados se usan emulgentes coloidales, cuyas moléculas poseen propiedades para disolverse con el agua y también con los glóbulos asfálticos. Debido a esto, las moléculas de emulgente se adhieren a la superficie de los glóbulos asfálticos, impidiendo que éstos hagan contacto entre sí para unirse nuevamente (figura 5.33a).

Pero, por la naturaleza química del emulgente coloidal, su parte molecular que es soluble al agua se disocia, provocando que los glóbulos asfálticos sean rodeados por moléculas de emulgente transformadas y cargadas eléctricamente de manera positiva o negativa, según sea la carga eléctrica de la fracción molecular disociada y el emulgente coloidal empleado. Es de esta manera que los glóbulos asfálticos quedan rodeados por cargas eléctricas positivas o negativas y actuarán, por lo tanto, con cargas positivas o negativas, según sea el caso (figura 5.33 b).

Así, la carga eléctrica de la partícula se refiere a lo positiva (+) o negativa (-) que puede ser la carga eléctrica que reflejan los glóbulos del asfalto emulsionado al ser rodeados por moléculas de emulgente que han sufrido alteración química para adoptar carga eléctrica positiva o negativa.

La carga eléctrica de la partícula permite verificar el carácter iónico de los asfaltos emulsionados, cuando han sido fabricados a partir de emulgentes coloidales como las resinas de sosa o de potasa, o las sales cuaternarias de amonio. Los primeros producirán asfaltos emulsionados con carga eléctrica positiva y los segundos producirán asfaltos emulsionados con carga eléctrica negativa.

La carga eléctrica de la partícula se aplicará a los asfaltos emulsionados RR-2K, RR-3K, RM-2K y RM-3K, y permitirá verificar la naturaleza iónica del emulgente en función de la carga eléctrica positiva (+) reflejada por sus glóbulos asfálticos.

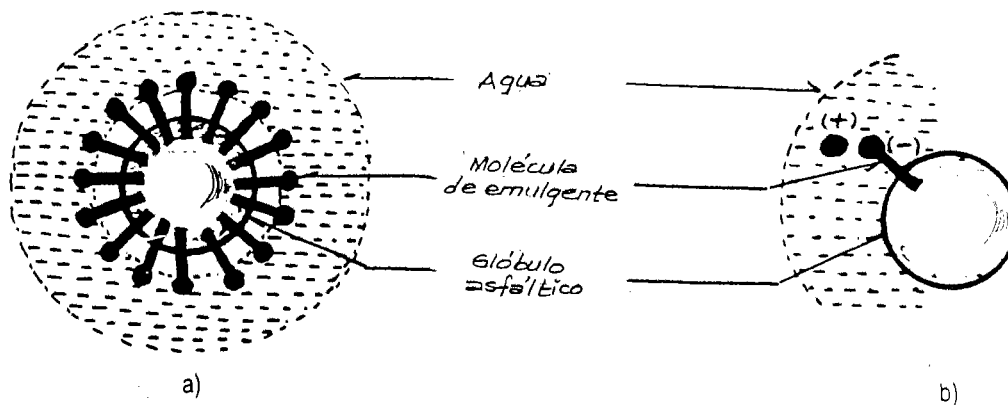


FIGURA 5.32  
INTERFASE Y DISOCIACIÓN MOLECULARES DEL EMULGENTE

## b. DETERMINACIÓN

### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Generador eléctrico, para producir una corriente eléctrica de 12 A (ver la figura 5.38).
- Dos electrodos, formados cada uno por una placa de acero inoxidable de 25 mm de ancho, 100 mm de largo y 3 mm de espesor. Ambos electrodos estarán aislados 13 mm entre sí, pero unidos y conectados al generador de corriente.
- Vaso de precipitado, de 200 cm<sup>3</sup>.
- Cronómetro.
- Agitador de vidrio.

### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se agitará una muestra de asfalto emulsionado sin que se produzca espuma.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será vertido suficiente asfalto en el vaso y se introducirá cada electrodo en el asfalto, hasta 25 mm, sin tocar el vaso.
- Se activará el cronómetro y el generador de corriente al mismo tiempo, y la carga eléctrica para los electrodos será de 8 mA. La aplicación de la corriente terminará después de 30 min o cuando la intensidad se reduzca a 2 mA.
- Extraídos los electrodos, se observará cual de ellos presenta adherencia de asfalto. Como la muestra representa a un asfalto emulsionado catiónico, el electrodo negativo debe presentar mucha adherencia de asfalto en tanto que el electrodo positivo estará relativamente limpio.
- Si ninguno de los electrodos presenta asfalto adherido, deberá repetirse el procedimiento anterior para una mayor intensidad de corriente.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La carga eléctrica de la partícula, en términos de la polaridad de los glóbulos de asfalto, será positiva (+) si la adherencia de asfalto se manifiesta en el electrodo negativo o ánodo.

Cuando se aplique una intensidad de corriente superior a 8 mA, junto a la carga eléctrica de la partícula se anotará el valor de dicha intensidad.

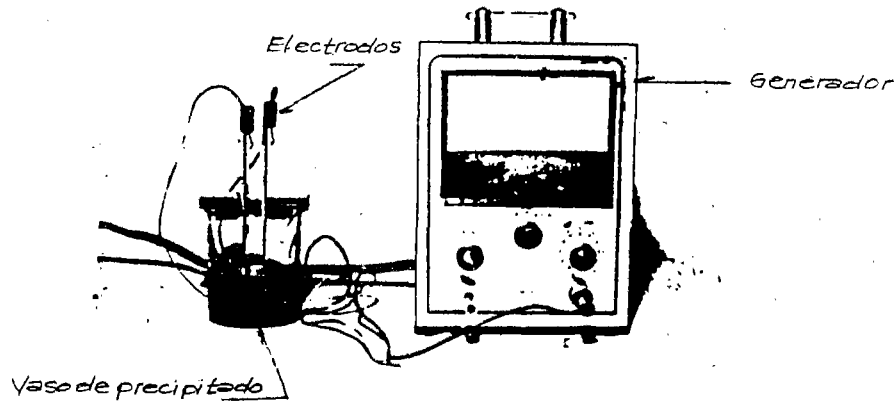


FIGURA 5.33  
EQUIPO PARA OBTENER LA CARGA ELÉCTRICA DE LA PARTÍCULA

## 18. EL POTENCIAL HIDRÓGENO

### a. DESCRIPCIÓN

Algunas sustancias en contacto con el agua liberan átomos de hidrógeno eléctricamente positivos, en tanto que otras, bajo la misma condición, liberan pares de átomos de oxígeno e hidrógeno eléctricamente negativos.

Por lo tanto, la acidez es el nivel de concentración de átomos de hidrógeno positivos presentes en ciertas sustancias y la alcalinidad es el nivel de concentración de átomos pares de oxígeno e hidrógenos negativos.

En la naturaleza, cualquier sustancia presenta cierto nivel de acidez, alcalinidad o ninguno de estos. En el primer caso son llamadas sustancias ácidas, en el segundo sustancias alcalinas y en el último sustancias neutrales.

La medida de la acidez, alcalinidad o neutralidad de una sustancia es mediante un índice llamado potencial hidrógeno, que se obtiene usando un aparato llamado potenciómetro.

La escala del potenciómetro tiene medida de potencial hidrógeno entre 0 y 7 para sustancias ácidas, de 7 para sustancias neutrales y entre 7 y 14 para sustancias alcalinas; por lo tanto, la mayor acidez tendrá el valor 0 y la mayor alcalinidad el valor 14.

El potenciómetro mide la carga eléctrica de la concentración de iones de hidrógeno que, en las sustancias ácidas es positiva ( + ) y en las alcalinas es negativa ( - ). Por esto, el potencial hidrógeno indicará la concentración de átomos de hidrógeno presentes en las sustancias ácidas o alcalinas y su unidad se designa como pH.

En los asfaltos emulsionados, el potencial hidrógeno verifica la acidez o alcalinidad del emulgente coloidal, pero su aplicación práctica es en el rango de la acidez y se relaciona a la facilidad de manejo de estos asfaltos y a la adherencia que deben desarrollar ante los agregados pétreos. Así, cuanto más su valor sea próximo a 7 indicará mayor adherencia del asfalto y también mayor dificultad a su manejo; lo contrario sucederá si su valor tiende a 0. Por otra parte, cuanto mayor acidez indique el potencial hidrógeno, el rompimiento del asfalto emulsionado se dará en tiempos menores y por lo tanto su estabilidad será completada en tiempos cortos.

El potencial hidrógeno se aplica a los asfaltos emulsionados RL-2K y RL-3K e indicará buena calidad cuando manifieste acidez por encima de 6.7 pH, que es la acidez ideal del emulgente coloidal.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Potenciómetro equipado con un dispositivo para hacer correcciones por temperatura. También tendrá un electrodo de referencia conteniendo solución saturada de cloruro de potasio (KCl), además de otro para medir el potencial hidrógeno. Su calibración consistirá en lograr que su indicador muestre el valor pH de las soluciones Buffer.

- Vaso de precipitado de 100 cm<sup>3</sup>.

- Vaso de aluminio de 1 l.

- Pipeta de vidrio.
- Termómetro de 50 °C.
- Soluciones Buffer, con 4.01, 6.86 y 9.18 pH.
- Tetracloruro de carbono.
- Agua destilada.
- Paño absorbente.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de asfalto emulsionado será preparada durante la etapa siguiente.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será vertido en el vaso de precipitado 75 cm<sup>3</sup> de solución Buffer, teniendo ésta a una temperatura de 20 a 30 °C, misma que deberá ser registrada y ser equivalente a la del compensador de temperatura. También el electrodo de referencia tendrá un nivel correcto en su contenido.
- Serán introducidos 3 cm los dos electrodos en la solución Buffer, sin tocar el vaso, y se hará funcionar el potenciómetro para leer el valor indicado, que será registrado como pH<sub>B</sub>.
- Se lavarán los electrodos con tetracloruro de carbono y agua y serán secados.
- Se agitará la muestra de asfalto emulsionado y se igualará su temperatura a la registrada para la solución Buffer.
- De inmediato se vierte 200 cm<sup>3</sup> de la muestra anterior en el vaso de precipitado y se introducen ambos electrodos procurando que penetren 3 cm en el asfalto sin tocar el vaso. Pasados 10 seg, se hará funcionar el potenciómetro y el valor leído será registrado como pH<sub>i</sub>.
- Lavados los electrodos con disolvente y agua, se introducen por segunda vez en la solución Buffer elegida, procurando una profundidad de 3 cm sin tocar el vaso. Se activará el potenciómetro y el valor leído será registrado como pH<sub>i</sub>.

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADOS

El potencial hidrógeno será cualquiera de los valores pH<sub>i</sub> y pH<sub>r</sub>, siempre que no difieran en más de 0.30. En caso contrario se obtendrá otro par de valores para otra muestra de asfalto emulsionado.

CONCLUSIÓN



Tratados los parámetros que en nuestro país rigen la calidad de los materiales para estructuración de carreteras, a continuación se exponen algunas aseveraciones a manera de conclusión.

1). Como quedó expuesto, la calidad de los materiales para estructuración de carreteras en México queda definida por un grupo limitado de propiedades y características llamadas parámetro de calidad. Se puede deducir, por lo tanto, que la calidad asignada a un material, según sus parámetros, es igualmente limitada y un número mayor de parámetros traería por consecuencia mayor calidad.

Pero resultaría difícil determinar la calidad de los materiales para estructuración de carreteras en función de todas las propiedades y características que de ellos se conocen, además de no ser práctica la determinación de muchas de ellas, por la inexistencia de procedimientos específicos de laboratorio, y porque sería tedioso definir la calidad de una amplia variedad de materiales considerando un conjunto extenso de parámetros de calidad de diversa índole.

2). En los parámetros de calidad tratados en el capítulo III, se puede observar que algunos se aplican a dos o más materiales de igual naturaleza, en tanto que otros no, aún cuando la aplicación puede ser correcta. Un ejemplo es la miscibilidad con cemento Portland, que, de todos los asfaltos emulsionados, sólo se aplica a los asfaltos emulsionados RL-1 y RL-2.

Esta disparidad de parámetros en dos o más materiales de la misma clase indica, en cierto modo, que aquellos que sustentan su calidad en mayores parámetros serán mejores a los que la sustentan en menores parámetros. Pero además, la calidad será distinta si algún parámetro manifiesta diferente restricción en su requisito de calidad cuando es aplicado a dos o más materiales de la misma clase, como la relación de soporte California, que tiene rango de valores distintos según el suelo sea para la subbase o la base. Así, de acuerdo a esto último, los materiales de igual clase, con parámetros más exigentes en sus requisitos de calidad, serán también de mayor calidad respecto de aquellos con iguales parámetros, pero de requisitos menos exigentes.

Por lo anterior, se puede afirmar que en los materiales para estructuración de carreteras no se puede hablar de calidad máxima y por lo tanto la calidad en ellos siempre tendrá el significado de la calidad de conformidad y no el de la calidad de especificación.

Pero la razón por la que dos o más materiales de la misma clase poseen parámetros de calidad distintos en naturaleza y restricción, obedece a la exigencia de calidades diversas de bajo costo. Esto se debe a que, en los materiales para estructuración de carreteras, las máximas calidades demandan mayores costos por las grandes cantidades que de ellos se maneja. Así, al ser autorizado el empleo de materiales con calidades distintas, se podrá estructurar carreteras de acuerdo al sistema de superposición de capas, que permite que cada capa estructural sea construida con menor calidad que la capa inmediata superior a ella.

3). La superposición de capas, como procedimiento para estructuración de carreteras, también es aplicada en países desarrollados, sólo que obliga al empleo de materiales de máxima calidad mediante parámetros con requisitos más exigentes que, como el caso de los suelos, han provocado desde el principio la inexistencia de la capa subrasante como elemento estructural de las carreteras. La estructuración, por lo tanto, se simplifica más, aunque no en costo, debido a que la subbase y la base cumplirán espesores considerables y la carpeta encima de la base pudiera ser de concreto hidráulico.

Pero el hecho de que en nuestro país los parámetros de calidad en los materiales para carreteras sean menos exigentes que en los países más desarrollados, puede justificarse en la preferencia de menores costos debido al bajo nivel económico nacional. Esta justificación es en cierta manera aceptable, sin embargo, hay que señalar que las actuales especificaciones que rigen la calidad de los materiales para carreteras tuvieron origen en una época en que las condiciones del tránsito vehicular eran muy diferentes a las actuales, es decir, hoy se continúan estructurando las carreteras mexicanas con materiales que satisfacen calidades cuyas especificaciones fueron puestas en vigor en 1957, después que el Dr. Nabor Carrillo Flores, destacado investigador, definiera cuáles parámetros y restricciones debían regir la calidad de los materiales para carreteras, pero de acuerdo a las exigencias tecnológicas y económicas del México de ése entonces.

Lo anterior no significa que los parámetros de calidad para carreteras en nuestro país sean obsoletos, sino que las condiciones actuales del transporte terrestre exigen carreteras estructuralmente mejores, en comparación con las que determinaban la construcción de las carreteras hace 47 años. Por lo tanto, es tiempo de revisar los límites o restricciones de los parámetros de calidad e igualarlos, por lo menos en cuanto a suelos se refiere, a los que rigen en los países desarrollados; esto, sin que sea necesario esperar que nuestro país salga del subdesarrollo. Y sólo nos referimos a los suelos, porque éstos representan el mayor porcentaje de materiales utilizados en la construcción de carreteras.

Evidentemente, esta revisión a las restricciones de los parámetros de calidad forzaría al empleo de mejores suelos y provocaría la desaparición de la capa subrasante como capa estructural, pero contemplaría una subbase y base de excelente calidad y espesores mayores. Por otra parte, la sola igualdad de especificaciones sería incuestionable si se toma en cuenta que los parámetros de calidad que en México rigen a los materiales para estructuración de carreteras, son sólo adaptaciones de los que entraron en vigor en el vecino país del norte hace varias décadas.

4). Pero la revisión a las restricciones de los parámetros de calidad no se prevé para el futuro inmediato, sino a largo plazo, quizá cuando la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, encargada de las carreteras del país, sea desburocratizada y visionaria para iniciar la modernización de las carreteras desde el enfoque de una excelente estructuración. Sólo con la mejoría en la calidad de los suelos se obtendría, entre otros beneficios, mayor vida útil de las carreteras, pues, una carretera para tránsito promedio diario anual moderado tiene en México una vida útil promedio de 15 años, mientras que en Estados Unidos de América alcanza 25 años o más.

Así, en lo que esperamos, el gobierno federal seguirá construyendo carreteras con calidades limitadas en lo que a estructuración se refiere, las cuales contemplan de antaño mayores posibilidades de fallas estructurales en tiempos menores.

5). Por último, si hemos de ser conformistas en cuanto a los alcances de los parámetros para estructuración de carreteras, que no cumplen las mejores calidades del mundo, por lo menos las entidades participantes en el proyecto y construcción debieran preocuparse más por la aplicación profesional de los requisitos de calidad, para garantizar que las carreteras mexicanas sean estructuradas lo mejor posible. Y es que, a la ya deficiente estructuración de nuestras carreteras, hay que agregar que la calidad estructural proyectada es indudablemente afectada por la irresponsabilidad y corrupción de los involucrados en la construcción, que suelen utilizar materiales fuera de especificaciones mediante el soborno a las entidades supervisoras.

## APÉNDICE

1. EL CONTENIDO DE AGUA EN LOS SUELOS
2. EL PESO VOLUMÉTRICO DE ESPECIMENES DE MEZCLA ASFÁLTICA
3. LA CANTIDAD ÓPTIMA DE ASFALTO
4. LA ABSORSIÓN DEL MATERIAL PÉTREO
5. LA DENSIDAD APARENTE DEL MATERIAL PÉTREO
6. EL CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA
7. EL CONTENIDO DE DISOLVENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA
8. LA DENSIDAD DEL ASFALTO
9. EL RESIDUO ASFÁLTICO POR EVAPORACIÓN
10. LA COMPACTACIÓN PORTER
11. MALLAS USA STANDARD

## 1. EL CONTENIDO DE AGUA EN LOS SUELOS

### a. DESCRIPCIÓN

Cualquier porción de suelo consta de tres fases: La sólida, la líquida y la gaseosa. El contenido de agua de dicha porción será entonces el peso de su fase líquida, en porcentaje respecto del peso de su fase sólida.

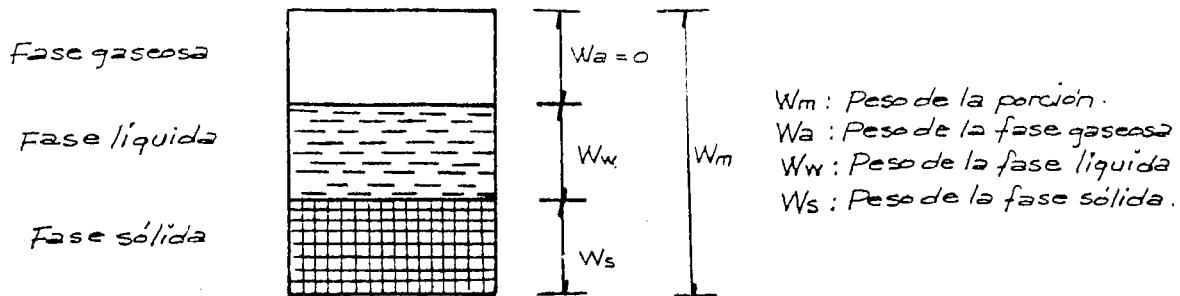


FIGURA A.1  
ESQUEMA DE UNA PORCIÓN DE SUELO

Para determinar el contenido de agua de una porción de suelo representada por la figura anterior, se requiere que ésta sea calentada a cierta temperatura para que su fase líquida desaparezca por evaporación y dicha porción quede formada por sus fases sólida y gaseosa.

El contenido de agua de un suelo, por lo tanto, será el peso total que pierde una porción de suelo húmeda al ser calentada a 105 °C, expresado en porcentaje respecto del peso de la misma porción pero seca, y quedará designado como  $w$ .

El contenido de agua en los suelos se aplica a la determinación de la composición granulométrica, el límite líquido, el índice plástico y el peso volumétrico seco máximo.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza de 100, 500 o 1000 g. La que haya de emplearse dependerá del peso de la porción de suelo representativa, como veremos más adelante.
- Horno a 105 °C.
- Recipiente con tapa, resistente a altas temperaturas.
- Desecador de cristal, conteniendo cloruro de calcio anhidro.
- Mallas 4.75, 25.0 y 50.0

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de suelo se toma, por cuarteo, una de las porciones siguientes, de acuerdo al tamaño máximo del material.

Porción de 100 g, si las partículas mayores del material pasan la malla 4.75.

Porción de 500 g, si las partículas mayores del material pasan la malla 25.0.

Porción de 1000 g, si las partículas mayores del material pasan la malla 50.0.

#### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Conteniendo su tapa, será pesado el recipiente y se registrará el peso como  $W_1$ .
- Conteniendo la porción de suelo húmeda y su tapa, se pesará el recipiente y el peso será registrado como  $W_2$ .
- La porción de suelo húmeda será secada al horno a 105 °C, hasta que no haya variación apreciable en su peso.
- La porción de suelo seca se dejará enfriar al ambiente en el desecador de cristal y con el recipiente tapado será pesada para registrar el peso como  $W_3$ .

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se calcula el peso del agua contenida en la porción de suelo, como:

$$W_w = W_2 - W_3$$

En donde:

$W_w$  es el peso del agua contenida en la porción de suelos, en g.

$W_2$  es el peso del recipiente tapado conteniendo la porción de suelo húmeda, en g.

$W_3$  es el peso del recipiente tapado conteniendo la porción de suelo seca, en g.

- También se calcula el peso de la porción de suelo seca, como:

$$W_s = W_3 - W_1$$

En donde:

$W_s$  es el peso de la porción de suelo seca, en g.

$W_3$  es el peso del recipiente tapado conteniendo la porción de suelo seca, en g.

$W_1$  es el peso del recipiente vacío y tapado, en g.

- Finalmente, el contenido de agua se obtendrá como:

$$w = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) 100$$

En donde:

$w$  es el contenido de agua o humedad, en %.

$W_w$  es el peso del agua contenida en la porción de suelo, en g.

$W_s$  es el peso de la porción de suelo seca, en g.

## 2. EL PESO VOLUMÉTRICO DE ESPECIMENES DE MEZCLA ASFÁLTICA

### a. DESCRIPCIÓN

Anteriormente quedó definido el peso volumétrico de un material y en este caso corresponde a especímenes elaborados con mezcla asfáltica, cuando para los materiales pétreos de la carpeta asfáltica sea determinada la pérdida de estabilidad por inmersión.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza de 5 Kg, para obtener pesos sumergidos.
- Vaso de aluminio, de 500 cm<sup>3</sup>.
- Vaso de precipitado, de 400 cm<sup>3</sup>.
- Parrilla eléctrica o fuente de calor de flama abierta.
- Termómetro de 0 a 100 °C.
- Parafina blanca.
- Estearato de zinc.
- Hilo de nylon, delgado.

#### 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será calentada suficiente parafina hasta fluidificarla.
- Con el hilo de nylon será sujetado el espécimen de mezcla asfáltica, dejando libre un extremo del hilo.
- En la condición anterior será pesado el espécimen para registrar el peso como  $W_{ir}$ .
- Se aplicará estearato de zinc a todo el espécimen para cubrirlo con una capa delgada de parafina líquida.
- Tomado por su hilo, se pesará el espécimen cubierto con parafina y el peso será registrado como  $W_{mp}$ .
- Colocado en la balanza el vaso de precipitado con 400 cm<sup>3</sup> de agua a 20 °C, será fijado a la balanza el espécimen, de tal manera que cuelgue de su hilo y quede sumergido en el agua del vaso sin tocarlo. Así se obtendrá el peso del espécimen sumergido, que será registrado como  $W_{mps}$ .
- Se quita al espécimen el hilo y la parafina.
- Se determina el contenido de agua  $w_m$  a una porción de la mezcla asfáltica usada para el espécimen, de acuerdo a la parte 6 de este apéndice.
- A otra porción de la misma mezcla asfáltica se le determinará el contenido de disolvente  $D$ , de acuerdo a la parte 7 de este apéndice.

#### 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se calcula el volumen de la parafina que cubre al espécimen, como:

$$V_p = \frac{W_{mp} - W_m}{\gamma_p}$$

En donde:

$V_p$  es el volumen de la parafina que cubre al espécimen, en cm<sup>3</sup>.

$W_p$  es el peso del espécimen cubierto con parafina, en g.

$W_m$  es el peso del espécimen sin parafina, en g.

$\gamma_p$  es el peso volumétrico de la parafina, equivalente a 0.97 g/cm<sup>3</sup>.

- Se calcula el volumen del espécimen sin parafina como:

$$V_m = V_{mp} - V_p = \frac{(W_{mp} - W_{mps})}{\gamma_o} - V_p$$

En donde:

$V_m$  es el volumen del espécimen sin parafina, en  $\text{cm}^3$ .

$V_{mp}$  es el volumen del espécimen cubierto con parafina, en  $\text{cm}^3$ .

$V_p$  es el volumen de la parafina que cubre al espécimen, en  $\text{cm}^3$ .

$W_{mp}$  es el peso del espécimen cubierto con parafina, en g.

$W_{mps}$  es el peso del espécimen sumergido y cubierto con parafina, en g.

$\gamma_o$  es el peso volumétrico del agua, equivalente a  $1 \text{ g/cm}^3$ .

- Se calcula el peso volumétrico del espécimen húmedo, como:

$$\gamma_{me} = \left( \frac{W_m}{V_m} \right) 1000$$

En donde:

$\gamma_{me}$  es el peso volumétrico del espécimen húmedo, en  $\text{kg/cm}^3$ .

$W_m$  es el peso del espécimen, en g.

$V_m$  es el volumen del espécimen, en  $\text{cm}^3$ .

- Finalmente, mediante la fórmula siguiente se obtendrá el peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica.

$$\gamma_{de} = \left( \frac{\gamma_{me}}{100 + w_m + D} \right) 100$$

En donde:

$\gamma_{de}$  es el peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica, en  $\text{kg/cm}^3$ .

$\gamma_{me}$  es el peso volumétrico del espécimen húmedo, en  $\text{kg/cm}^3$ .

$w_m$  es el contenido de agua de la mezcla asfáltica con la que se elaboró el espécimen, en %.

$D$  es el contenido de disolvente de la mezcla asfáltica con la que se elaboró el espécimen, en %.

### 3. LA CANTIDAD ÓPTIMA DE ASFALTO

#### a. DESCRIPCIÓN

Para su aplicación a la pérdida de estabilidad por inmersión, se determinará aquí la cantidad óptima de asfalto necesaria para elaborar una mezcla asfáltica aceptable, o sea, aquella en la cual el agregado pétreo deber quedar bien aglutinado, sin presentar sobrante o faltante de asfalto.

Para determinar la pérdida de estabilidad por inmersión es importante elaborar la mezcla asfáltica con la cantidad óptima de asfalto, pues una mezcla con asfalto excesivo será inestable y con asfalto carente será de elaboración dificultosa.

La cantidad óptima de asfalto se obtendrá aplicando una fórmula empírica, que considera algunas características del material pétreo, como su granulometría, su absorción y densidad, además de la densidad y consistencia del asfalto utilizado, y será expresada en porcentaje respecto del peso de agregado pétreo participante en la mezcla asfáltica.

#### b. DETERMINACIÓN

##### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Mallas 9.5, 4.75, 0.250 y 0.075.
- Fondo para las mallas.
- Balanza de 50 Kg.
- Charolas de lámina.

##### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra aquí, equivale a la preparada con material pétreo en la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión.

##### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será cribada sucesivamente por las mallas 9.5, 4.75, 0.25 y 0.075 la muestra preparada del material pétreo para la mezcla.
- El peso de la fracción retenida en la malla 9.5, en porcentaje respecto del peso de la muestra preparada, será registrado como G.
- El peso de la fracción retenida en la malla 4.75, en porcentaje respecto del peso de la muestra preparada, será registrado como  $G_F$ .
- El peso de la fracción retenida en la malla 0.25, en porcentaje respecto del peso de la muestra preparada, será registrado como S.
- El peso de la fracción retenida en la malla 0.075, en porcentaje respecto del peso de la muestra preparada, será registrado como  $S_F$ .
- El peso de la fracción que pasa la malla 0.075, en porcentaje respecto del peso de la muestra preparada, será registrado como F.

- Será determinada la densidad aparente  $S_{ap}$  del material pétreo de acuerdo a la parte 5 de este apéndice.
- De la tabla A.1 se obtiene el módulo de riqueza  $M$ , del material asfáltico participante en la mezcla, siendo necesario definir si las partículas del agregado son angulosas, sub-angulosas o redondas. Para esto también se obtendrá la absorción  $W_{ab}$ , mediante la parte 4 de este apéndice.

FORMA DE LAS PARTÍCULAS DEL MATERIAL PÉTREO	ABSORCIÓN DEL MATERIAL PÉTREO ( $W_{ab}$ )		
	Hasta 2.5 %	De 2.6 a 5.0 %	Mayor a 5.0 %
Angulosas	1.96	2.35	3.10
Sub-angulosas	1.64	2.10	2.80
Redondas	1.33	1.85	2.50

TABLA A.1  
MÓDULO DE RIQUEZA  $M$ , DEL ASFALTO PARA LA MEZCLA

- Por último se define el factor de ajuste  $K$ , que será igual a 1.0, 0.70 o 0.85 si se trata de cemento asfáltico, asfalto rebajado o asfalto emulsionado, respectivamente.

#### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

La cantidad óptima de asfalto, para la elaboración de la mezcla asfáltica, se obtiene como:

$$C_o = \sqrt{\frac{0.17G + 0.33G_F + 2.30S + 12S_F + 135F}{100} \cdot \left( \frac{2.65MK}{S_{ap}} \right)}$$

En donde:

$C_o$  es la cantidad óptima de asfalto, en %.

$G$  es el porcentaje, en peso, de la fracción retenida en la malla 9.5.

$G_F$  es el porcentaje, en peso, de la fracción retenida en la malla 4.75.

$S$  es el porcentaje, en peso, de la fracción retenida en la malla 0.25.

$S_F$  es el porcentaje, en peso, de la fracción retenida en la malla 0.075.

$F$  es el porcentaje, en peso, de la fracción que pasa la malla 0.075

$S_{ap}$  es la densidad aparente del material pétreo, adimensional.

$M$  es el módulo de riqueza del asfalto, adimensional.

$K$  es el factor de ajuste de la mezcla asfáltica, adimensional.

#### 4. LA ABSORCIÓN DEL MATERIAL PÉTREO

##### a. DESCRIPCIÓN

La absorción del material pétreo se aplica para definir el módulo de riqueza, cuando se requiere obtener la cantidad óptima de asfalto en la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión.

En términos de su obtención, la absorción del material pétreo queda definida por la cantidad de agua absorbida por las partículas de una porción de agregado pétreo después de permanecer en saturación, quedando expresada en porcentaje respecto del peso de la misma porción de agregado pétreo pero estando seca.

##### b. DETERMINACIÓN

###### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Malla 4.75.
- Balanza de 5 Kg.
- Horno a 105 °C.
- Desecador de cristal, conteniendo cloruro de calcio anhidro.
- Charola de lámina.
- Paño absorbente.

## 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De la muestra de agregado pétreo para elaborar la mezcla asfáltica, se tomará 5 Kg para ser cribados por la malla 4.75 y de la fracción retenida en esta malla se tomará, por cuarteo, una porción de prueba equivalente a 1 Kg.

## 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Pesada la charola y registrado su peso como  $W$ , se depositará en ella la porción de prueba y se aplicará agua para eliminar las partículas finas.
- La porción en la charola será secada al horno, a 105 °C y hasta peso constante.
- Se dejará enfriar al ambiente, en el desecador de cristal, la porción de prueba en la charola y así se dejará en saturación por 24 h.
- Conservando sólo la humedad de saturación, será pesada la porción de prueba en la charola y se registrará el peso como  $W_1$ .
- Será secada al horno la porción de prueba en la charola, a 105 °C y hasta peso constante.
- Enfriada al ambiente, en el desecador de cristal, será pesada la porción de prueba en la charola y el peso será registrado como  $W_2$ .

## 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se calcula el peso de la porción de prueba saturada y superficialmente seca como:

$$W_i = W_1 - W$$

En donde:

$W_i$  es el peso de la porción saturada, en g.

$W_1$  es el peso de la charola conteniendo la porción de prueba saturada, en g.

$W$  es el peso de la charola, en g.

- Se calcula el peso de la porción de prueba secada al horno como:

$$W_s = W_2 - W$$

En donde:

$W_s$  es el peso de la porción de prueba secada al horno, en g.

$W_2$  es el peso de la charola conteniendo la porción de prueba secada al horno, en g.

$W$  es el peso de la charola vacía, en g.

- Finalmente, la absorción se obtiene mediante la fórmula:

$$W_{ab} = \left( \frac{W_i - W_s}{W_s} \right) 100$$

En donde:

$W_{ab}$  es la absorción del material pétreo, en %.

$W_i$  es el peso de la porción de prueba saturada, en g.

$W_s$  es el peso de la porción de prueba secada al horno, en g.

## 5. LA DENSIDAD APARENTE DEL MATERIAL PÉTREO

### a. DESCRIPCIÓN

La densidad aparente de un suelo (en este caso material pétreo) es la relación de su peso volumétrico seco aparente y el peso volumétrico del agua, en tanto que el peso volumétrico seco aparente es la relación entre el peso y el volumen de su fase sólida, considerando los vacíos impermeables.

Para su aplicación a la determinación de la cantidad óptima de asfalto, necesaria para las mezclas asfálticas, se obtendrá la densidad aparente del material pétreo de acuerdo a lo siguiente:

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Horno a 200 °C.
- Plancha eléctrica a 200 °C.
- Mechero a gas.
- Balanza de 5 Kg, para pesos sumergidos.
- Termómetro de inmersión, de 0 a 150 °C.
- Recipientes metálicos de 4 l, con asas.
- Recipiente del tamaño adecuado para sumergir el recipiente de 4 l.
- Charolas metálicas, redondas.
- Agitador metálico, con 6 mm de diámetro por 30 cm de longitud.



## 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Se coloca en una charola 1500 g del material pétreo considerado para la mezcla asfáltica y será secado al horno a 105 °C y hasta peso constante.
- Se dejará enfriar al ambiente la porción de material pétreo y obtenido su peso será registrado como  $W_p$ .
- Fluidificada una muestra de cemento asfáltico, se vierte 6 Kg en el recipiente de 8 l, para ser calentados en la plancha a 138 °C.
- Será vertido asfalto en el recipiente de 4 l, hasta 1/3 de su capacidad, y se agitará para dejarlo enfriar hasta 22 °C sin extraer el agitador.
- En el recipiente adecuado conteniendo agua a 22 °C, será sumergido el asfalto en su recipiente (sin extraer el agitador) y se obtendrá su peso sumergido, registrándose como  $W_a$ .
- Será colocado en la plancha eléctrica el recipiente conteniendo el asfalto y su agitador, y la porción seca de agregado pétreo se introducirá al horno. Ambos materiales serán calentados a 138 °C.
- Se agregará la porción de material pétreo al asfalto contenido en el vaso, se mezclarán ambos materiales por 2 min y se dejará enfriar la mezcla hasta 22 °C.
- Será sumergido el recipiente conteniendo la mezcla y el agitador, en el otro recipiente con agua a 22 °C, y se obtendrá el peso sumergido del conjunto, registrándose como  $W_{ap}$ .
- Será repetido todo lo anterior para otros 1500 g de agregado pétreo, a fin de completar dos valores de densidad aparente.

## 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para cada una de las porciones del material pétreo, se obtiene la densidad aparente mediante la fórmula:

$$S_{ap} = \frac{W_p}{W_p - (W_{ap} - W_a)}$$

En donde:

$S_{ap}$  es la densidad aparente del material pétreo, adimensional.

$W_p$  es el peso de la porción seca de material pétreo, en g.

$W_{ap}$  es el peso sumergido del recipiente conteniendo la mezcla y al agitador, en g.

$W_a$  es el peso sumergido del recipiente conteniendo el asfalto y el agitador, en g.

La densidad aparente del material pétreo será el promedio de los dos valores obtenidos, siempre que la diferencia entre ambos no sea mayor a 0.04. Si esta restricción no se cumple, entonces el procedimiento práctico será repetido para dos nuevas porciones de material pétreo. Si en el segundo intento dicho promedio tampoco fuera el resultado de dos densidades diferentes en menos de 0.04, entonces, la densidad aparente definitiva será el promedio de los cuatro valores.

## 6. EL CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

### a. DESCRIPCIÓN

El contenido de agua en la mezcla asfáltica será obtenido en porcentaje respecto del peso del material pétreo para la mezcla. En este caso, la mezcla asfáltica es la usada para los especímenes requeridos para determinar el peso volumétrico en la pérdida de estabilidad por inmersión.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Envases para 600 g de mezcla asfáltica, con tapa.
- Envases para 6 g de mezcla asfáltica, con tapa.
- Matraz cilíndrico con tapa, provisto de una perforación con adaptador tubular de 25.4 mm de diámetro interior. Figura A.2.
- Condensador para enfriamiento por agua, con longitud mínima de 400 mm y diámetros de entrada y salida de 9.5 y 12.7 mm, respectivamente.
- Trampa de vidrio resistente al calor, con graduación a cada 0.1 cm<sup>3</sup> hasta la marca de 1 cm<sup>3</sup>, y a cada 0.2 cm<sup>3</sup> de la marca de 1 cm<sup>3</sup> a la marca de 10 cm<sup>3</sup>. Figura A.2.
- Parrilla eléctrica o quemador a gas.
- Balanza de 2 Kg.
- Agitador de vidrio.
- Gasolina blanca.

#### 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De la mezcla asfáltica se tomará una porción de 500 g y se registrará su peso como  $W_1$ .
- Será obtenido el contenido de disolvente D, de la mezcla asfáltica, de acuerdo a la parte 7 de este apéndice.
- Se deposita la porción de 500 g en el matraz cilíndrico conteniendo 200 cm<sup>3</sup> de gasolina blanca y será agitado el contenido.

- Se colocará el matraz en su base de soporte y el resto del equipo quedará instalado como la figura A.2
- Se hará circular agua por el condensador y se aplicará calor a la base del matraz para que la destilación se produzca de 85 a 95 gotas / min y de 5 a 10 min posterior a la aplicación de calor. La destilación terminará cuando no haya variación en el volumen destilado durante 15 min.
- Enfriada el agua contenida en la trampa, será tomada la lectura de su volumen y se registrará como  $V_w$ .

### 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Considerando la cantidad óptima de asfalto  $C_o$ , obtenida para elaborar la mezcla asfáltica y, tomando en cuenta que ésta mezcla asfáltica es utilizada para conocer la pérdida de estabilidad por inmersión, se calculará la cantidad de asfalto contenida en la porción de 500 g. Para esto es necesario aplicar la siguiente fórmula, en donde la cantidad de asfalto será obtenida en porcentaje respecto de los 500 g de la porción de mezcla asfáltica.

$$C_{500} = \left[ \frac{C_o}{1 + \frac{C_o}{100}} \right]$$

En donde:

$C_{500}$  es la cantidad de asfalto que contiene la porción de 500 g de mezcla asfáltica, en %.

$C_o$  es la cantidad óptima de asfalto en la mezcla asfáltica, de la que se obtiene la porción de 500 g, en %.

- El contenido de agua en la mezcla asfáltica será obtenido aplicando la fórmula:

$$W_a = \left[ \frac{V_w \gamma_o}{W_1 - (W_1 C_{500} + W_1 C_{500} D + V_w \gamma_o)} \right] 100$$

En donde:

$w_a$  es el contenido de agua en la mezcla asfáltica, en %.

$V_w$  es el volumen del agua depositada en la trampa, en  $cm^3$ .

$\gamma_o$  es el peso volumétrico del agua, equivalente a  $1 \text{ g/cm}^3$ .

$W_1$  es el peso de la porción de mezcla asfáltica, equivalente a 500 g.

$C_{500}$  es la cantidad de asfalto en la porción de 500 g de mezcla asfáltica, en %.

$D$  es el contenido de disolvente en la mezcla asfáltica, en %.

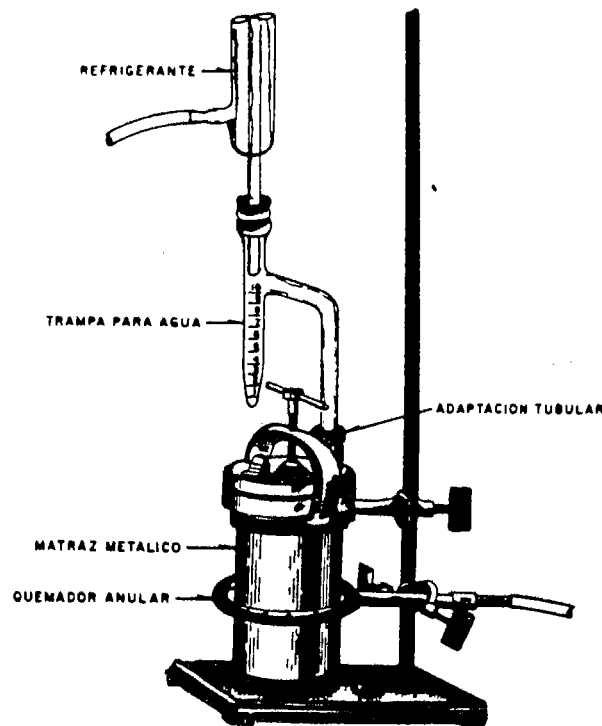


FIGURA A.2  
EQUIPO PARA OBTENER EL CONTENIDO DE AGUA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

## 7. EL CONTENIDO DE DISOLVENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

### a. DESCRIPCIÓN

El contenido de disolvente en la mezcla asfáltica se obtendrá en porcentaje respecto del peso del asfalto presente en la porción de prueba. Se aplicará al cálculo del peso volumétrico de especímenes de mezcla asfáltica utilizado en la pérdida de estabilidad por inmersión, cuando sea estudiada la afinidad entre el material pétreo y el asfalto.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Envase con capacidad para 6 g de mezcla asfáltica, con tapa.
- Matraz cilíndrico, con tapa hermética, provisto de una perforación con adaptador tubular de 25.4 mm de diámetro interior y adecuada para conectar el condensador. Figura 1.5.
- Condensador para enfriamiento por agua, con longitud mínima de 400 cm y con diámetros de entrada y salida de agua de 9.5 y 12.5 mm, respectivamente.
- Trampa de vidrio con graduación a cada 0.1 cm<sup>3</sup> hasta la marca de 1 cm<sup>3</sup>, y a cada 0.2 cm<sup>3</sup> de la marca de 1 cm<sup>3</sup> hasta la marca de 10 cm<sup>3</sup>. Figura A.4.
- Quemador a gas.
- Balanza de 2 Kg.
- Charola de lámina.
- Agua destilada.
- Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

#### 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- De la mezcla asfáltica se tomará una porción de 500 g y será depositada en el matraz.
- Se prepara una solución con 350 cm de agua destilada y 3 g de carbonato de sodio y se vierte en el matraz para su agitación.
- Tapado el matraz, se acopla al resto del equipo para destilación instalado como la figura A.5.
- Se hace circular agua por el condensador y se aplica calor a la base del matraz para que la destilación se produzca de 85 a 95 gotas / min y de 5 a 10 min posterior a la aplicación de calor. La destilación concluirá cuando el volumen destilado en la trampa no varíe durante 15 min.
- Se dejará enfriar el contenido en la trampa durante 15 min y será tomada la lectura del volumen de disolvente separado, registrándose como V<sub>d</sub>.

#### 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

Considerando la cantidad óptima de asfalto C<sub>o</sub>, obtenida para elaborar la mezcla asfáltica en la determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión, se calculará la cantidad de asfalto contenida en la porción de 500 g. Para esto se aplicará la siguiente fórmula:

$$C_{500} = \frac{C_o}{\left[1 + \frac{C_o}{100}\right]}$$

En donde:

C<sub>500</sub> es la cantidad de asfalto que contiene la porción de 500 g de mezcla asfáltica, en %.

C<sub>o</sub> es la cantidad óptima de asfalto en la mezcla asfáltica, de la que se obtiene la porción de 500 g, en %.

- El contenido de disolvente en la mezcla asfáltica se obtiene aplicando la fórmula:

$$D = \frac{V_D \gamma_D}{W_1 C_{500}}$$

En donde:

D es el contenido de disolvente en la mezcla asfáltica, en %.

V<sub>D</sub> es el volumen de disolvente en la trampa, en cm<sup>3</sup>.

γ<sub>D</sub> es el peso volumétrico del disolvente. Será igual 0.75, 0.80 o 0.85 gr/cm<sup>3</sup> si el asfalto utilizado es del tipo FR, FM ó FL, respectivamente.

W<sub>1</sub> es el peso de la porción de mezcla asfáltica, equivalente a 500 g.

C<sub>500</sub> es la cantidad de asfalto que contiene la porción de 500 g de mezcla asfáltica, en %.

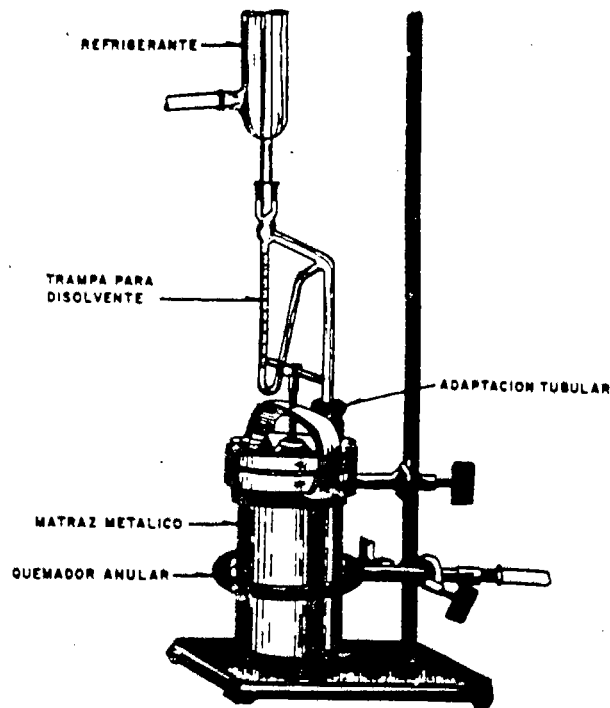


FIGURA A.3  
EQUIPO PARA OBTENER EL CONTENIDO DE DISOLVENTE EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

## 8. LA DENSIDAD DEL ASFALTO

### a. DESCRIPCIÓN

La densidad del asfalto es la relación entre el peso de cierto volumen de asfalto y el peso de un volumen igual de agua, ambos a la misma temperatura.

Al definir la calidad de los cementos asfálticos, asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, la densidad en los asfaltos es útil para determinar en ellos, respectivamente, la pérdida de peso por calentamiento, el residuo asfáltico por destilación y el contenido de disolvente.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Picnómetro de vidrio. Figura A.4.
- Termómetro de inmersión total, de -8 a 32 °C.
- Balanza con aproximación de 1 mg.
- Vasos de precipitado, de 250 a 600 cm<sup>3</sup>.
- Baño de agua a 50 °C.
- Fuente de calor.
- Agua destilada.
- Paño absorbente.

#### 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será pesado el picnómetro tapado y se registrará el peso como  $W_p$ .
- Estando el picnómetro lleno de agua destilada y tapado, se le sumerge en un vaso conteniendo agua destilada, el que a su vez permanecerá en inmersión parcial dentro del baño de agua a 25 °C y por 30 min.
- Con el tapón lleno de agua en su orificio, será pesado el picnómetro lleno de agua y se registrará el peso como  $W_{pw}$ . Luego será vaciado el picnómetro para su secado interior.

- Será fluidificado 100 g de cemento asfáltico, para ser vertido en el picnómetro caliente hasta la mitad de su capacidad.
- Estando a la temperatura ambiente el asfalto en el picnómetro y, tapado éste, será obtenido su peso y se registrará como  $W_{pa}$ .
- Con agua destilada se completará el llenado del picnómetro y, tapado, será sumergido en el vaso que contiene agua destilada a 25 °C. La inmersión será por 30 min.
- Estando seco por fuera, será pesado el picnómetro con su contenido y su tapa y se registrará el peso como  $W_{paw}$ .
- Para asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados se procederá de acuerdo a lo anterior, sólo que al depositar el asfalto en el picnómetro se hará hasta llenarlo. Se obtendrá, por lo tanto, un peso del picnómetro y su contenido, que será registrado como  $W_{pa}'$ .

### 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Para los cementos asfálticos, la densidad será calculada como:

$$S_a = \frac{W_{pa} - W_p}{(W_{pw} - W_p) - (W_{paw} - W_{pa})} = \frac{W_a}{W_w}$$

- Para los asfaltos rebajados y asfaltos emulsionados, la densidad será calculada como:

$$S_a = \frac{W_{pa}' - W_p}{(W_{pw} - W_p)} = \frac{W_a'}{W_w}$$

Para ambas fórmulas se tiene que:

$S_a$  es la densidad del asfalto en estudio, adimensional.

$W_{pa}$  es el peso del picnómetro con asfalto hasta la mitad, en g.

$W_{pa}'$  es el peso del picnómetro lleno de asfalto, en g.

$W_p$  es el peso del picnómetro, en g.

$W_{pw}$  es el peso del picnómetro lleno de agua, en g.

$W_{paw}$  es el peso del picnómetro con mitad de asfalto y mitad de agua, en g.

$W_a$  es el peso del asfalto que ocupa la mitad del picnómetro, en g.

$W_a'$  es el peso asfalto que ocupa todo el picnómetro, en g.

$W_w$  es el peso del agua que ocupa la mitad del picnómetro, en g.

$W_w'$  es el peso del agua que ocupa todo el picnómetro, en g.

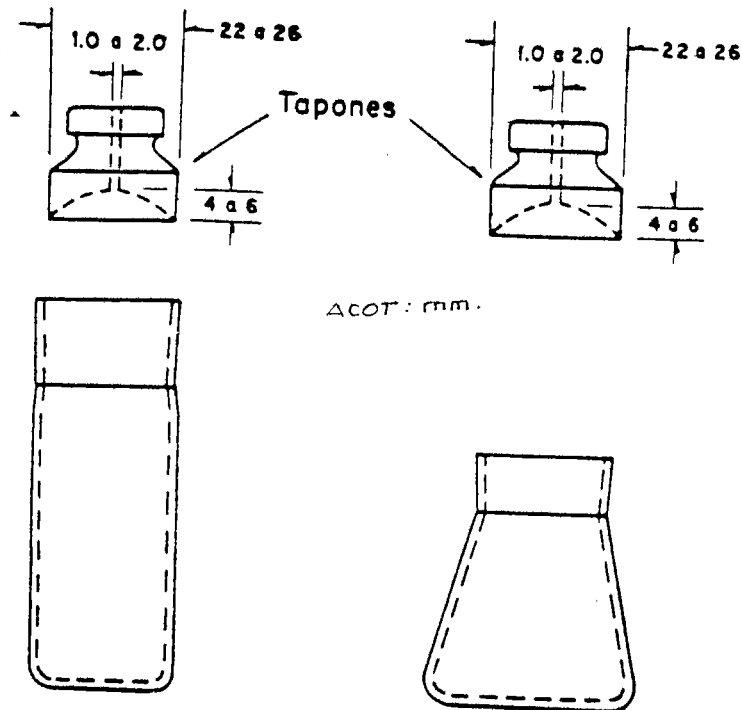


FIGURA A.4  
PICNÓMETROS

## 9. EL RESIDUO ASFÁLTICO POR EVAPORACIÓN

### a. DESCRIPCIÓN

Ya se indicó qué es el residuo asfáltico y aquí diremos que su obtención por evaporación es aplicada a ciertos asfaltos emulsionados en los que se determina la sedimentación en 5 días y la miscibilidad con cemento Pórtland.

Generalmente el residuo asfáltico por evaporación produce valores ligeramente bajos de sedimentación en 5 días, pero tiene la ventaja de ser obtenido más rápidamente en comparación con el residuo asfáltico por destilación.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Tres vasos de precipitado, de aluminio o vidrio refractario, de 600 cm<sup>3</sup>.
- Tres agitadores de vidrio, con 6.4 mm de diámetro y 18 cm de longitud.
- Balanza de 500 g.
- Horno a 175 °C.
- Malla 0.300.

#### 2). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- Será pesado cada vaso de precipitado conteniendo un agitador y será registrado cada peso como  $W_1$ .
- Estando cada vaso de precipitado en la balanza, se vierte en cada uno 50 g de asfalto emulsionado previamente agitado.
- Será calentado el asfalto en cada vaso por 2 h y a 163 °C.
- Fuera del horno será agitado el asfalto en cada vaso para su calentamiento por 1 h más y a 163 °C.
- Se dejará enfriar al ambiente el asfalto en cada vaso y, conteniendo su agitador, será pesado cada uno para registrar cada peso como  $W_2$ .

#### 3). CÁLCULOS Y RESULTADO

Para cada una de las tres porciones anteriores, se obtendrá el residuo asfáltico por evaporación como:

$$R_E = \left( \frac{W_2 - W_1}{50} \right) 100$$

En donde:

$R_E$  es el residuo asfáltico por evaporación, en %.

$W_1$  es el peso de cada vaso conteniendo su agitador, en g.

$W_2$  es el peso de cada vaso conteniendo su porción asfáltica y su agitador, en g.

El residuo asfáltico por evaporación definitivo será el promedio de los tres valores  $R_E$  obtenidos.

## 10. LA COMPACTACIÓN PORTER

### a. DESCRIPCIÓN

La compactación Porter permite conocer el peso volumétrico seco máximo de un suelo mediante una fórmula que considera datos empíricos.

El procedimiento consiste en compactar porciones de suelo para distintos contenidos de agua. La compactación se logra con una máquina de compresión, ejerciendo una carga estática preestablecida.

Esta compactación se aplica a la determinación de la relación de soporte California.

### b. DETERMINACIÓN

#### 1). MATERIAL Y EQUIPO

- Molde cilíndrico, con diámetro de 157.5 mm y altura de 127.5 mm. Estará provisto de un collarín y una base metálica removible.
- Máquina de compresión de 30 t.
- Varilla metálica, con diámetro de 19 mm, longitud de 30 cm y terminada en punta de bala.
- Placa circular, con diámetro de 154.5 mm y provista de un dispositivo para fijarla al cabezal de aplicación de carga. Ver la figura A.7.
- Mallas 25.0 y 4.75.
- Balanza de 20 Kg.
- Calibrador Máuser.

#### 2). PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De una muestra de suelo se obtendrá una porción de 16 Kg que pase la malla 25.0, misma que será dividida en cuatro partes iguales.

### 3). PROCEDIMIENTO PRÁCTICO

- A una de las porciones se agregará agua para que, posterior a su mezclado, deje ligera humedad en la palma de la mano al ser comprimida.
- En tres capas iguales será colocada en el cilindro la porción humedecida y se aplicará a cada capa 25 golpes con la varilla en punta de bala.
- Será compactado a compresión el espécimen en el cilindro, aplicando carga uniforme y lenta hasta 26.5 ton en 5 min. Esta carga permanecerá por 1 min y se hará la descarga. Si al completarse las 26.5 ton, la base del cilindro se humedeciera, indicará que el espécimen ha alcanzado la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo. Si al llegar a 26.5 ton, la base del cilindro permaneciera seca, la humedad del espécimen es inferior a la óptima y con especímenes similares, humedecidos en 80 cm<sup>3</sup> de agua cada vez más, se harán las compresiones necesarias hasta que haya humedad en la base del cilindro. En caso contrario, o sea, si se humedeciera la base del cilindro antes de llegar a 26.5 ton, se harán disminuciones de humedades en 80 cm<sup>3</sup> de agua para especímenes sucesivos y se harán las compresiones necesarias hasta que haya humedad en la base del cilindro.
- Lograda la compactación de un espécimen a la humedad óptima, se determinará su altura y se registrará como H<sub>e</sub>. También se obtendrá su peso para ser registrado como W<sub>1</sub>.
- Será cortado longitudinalmente el espécimen, para extraer de su centro una porción y con esta determinar su contenido de agua de acuerdo a la parte 1 de este apéndice. Este contenido de agua será la humedad óptima del suelo en estudio y será registrado como w<sub>o</sub>.
- Será pesado el molde cilíndrico vacío y se registrará el peso como W<sub>2</sub>. También se obtendrá el área de su sección transversal y será registrada como A.

### 4). CÁLCULOS Y RESULTADO

- Se calculará el volumen del espécimen compactado como:

$$V = \frac{A H_e}{1000}$$

En donde:

V es el volumen del espécimen compactado, en dm<sup>3</sup>.

A es el área de la sección transversal del molde cilíndrico, en cm<sup>2</sup>.

H<sub>e</sub> es la altura del espécimen compactado, en cm.

- Se calculará el peso volumétrico del espécimen con humedad óptima como:

$$\gamma_m = \left( \frac{W_1 - W_2}{V} \right) 1000$$

En donde:

$\gamma_m$  es el peso volumétrico del espécimen conteniendo la humedad óptima, en kg/cm<sup>3</sup>.

W<sub>1</sub> es el peso del molde conteniendo el espécimen húmedo, en Kg.

W<sub>2</sub> es el peso del molde vacío, en Kg.

V es el volumen del espécimen, en dm<sup>3</sup>.

- Finalmente, el peso volumétrico seco máximo será obtenido por la fórmula:

$$\gamma_{d \max} = \left( \frac{\gamma_m}{100 + \frac{w_o}{100}} \right) 100$$

En donde:

$\gamma_{d \max}$  es el peso volumétrico seco máximo, en kg/cm<sup>3</sup>.

$\gamma_m$  es el peso volumétrico del espécimen con humedad óptima, en kg/m<sup>3</sup>.

w<sub>o</sub> es la humedad óptima del espécimen compactado, en %.

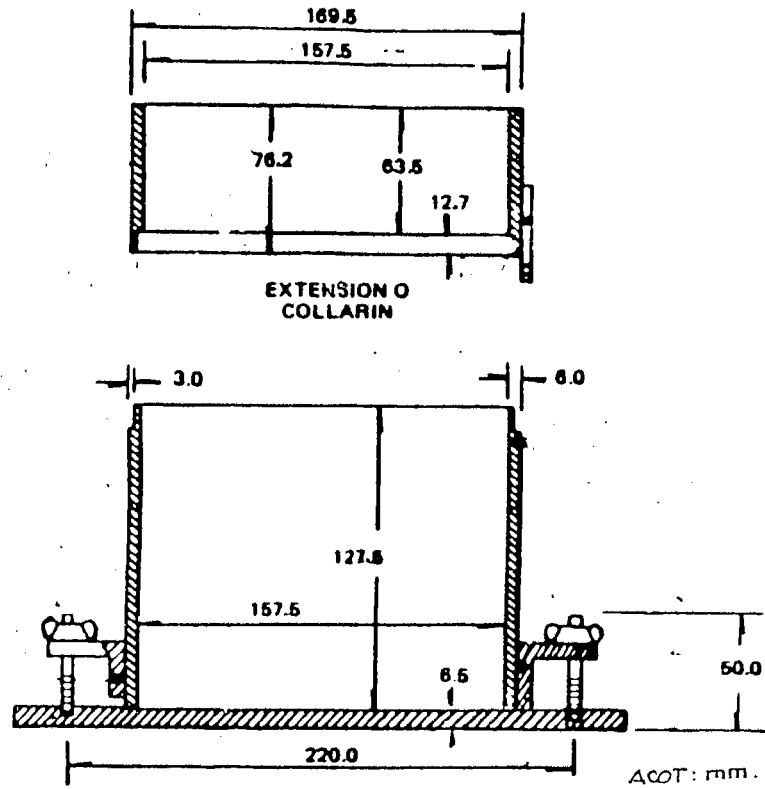


FIGURA A.5  
MOLDE PARA LA COMPACTACIÓN PORTER



## 11. MALLAS USA STANDARD

DESIGNACIÓN DE LA MALLA		Variación permisible de la abertura promedio respecto a la designación de la malla, en mm ( $\pm$ ).	Abertura máxima permisible, para menos del 5 % de las aberturas de la malla, en mm.	Abertura máxima individual permisible en mm.	Diámetro nominal del alambre, en mm.
NOMINAL (mm)	ALTERNATIVA				
75.0	Malla 3"	2.2	78.1	78.7	5.80
63.0	Malla 2 1/2"	1.9	65.6	66.2	5.50
50.0	Malla 2"	1.5	52.1	52.6	5.05
37.5	Malla 1 1/2"	1.1	39.1	39.5	4.59
31.5	Malla 1 1/4"	1.0	32.9	33.2	4.23
25.0	Malla 1"	0.8	26.1	26.4	3.80
19.0	Malla 3/4"	0.6	19.9	20.1	3.30
16.0	Malla 5/8"	0.5	16.7	17.0	3.00
12.5	Malla 1/2"	0.39	13.1	13.31	2.67
9.5	Malla 1/8"	0.30	9.97	10.16	2.27
8.0	Malla 5/16"	0.25	8.41	8.58	2.07
6.3	Malla 1/4"	0.20	6.64	6.78	1.82
4.75	Malla n° 4	0.15	5.02	5.14	1.54
2.36	Malla n° 8	0.080	2.515	2.60	1.00
2.0	Malla n° 10	0.070	2.135	2.215	0.900
1.70	Malla n° 12	0.060	1.820	1.890	0.810
1.40	Malla n° 14	0.050	1.505	1.565	0.725
1.18	Malla n° 16	0.045	1.270	1.330	0.650
1.0	Malla n° 18	0.040	1.080	1.135	0.580
0.850	Malla n° 20	0.035	0.925	0.970	0.510
0.600	Malla n° 30	0.025	0.660	0.695	0.390
0.425	Malla n° 40	0.019	0.471	0.502	0.290
0.300	Malla n° 50	0.014	0.337	0.363	0.215
0.250	Malla n° 60	0.012	0.283	0.306	0.180
0.018	Malla n° 80	0.009	0.207	0.227	0.131
0.150	Malla n° 100	0.008	0.174	0.192	0.110
0.106	Malla n° 140	0.006	0.126	0.141	0.076
0.075	Malla n° 200	0.005	0.091	0.103	0.053
0.045	Malla n° 325	0.003	0.057	0.066	0.030

## BIBLIOGRAFÍA

1. VÍAS DE COMUNICACIÓN  
Carlos Crespo V.  
LIMUSA, México. 1996
2. ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN  
Nabor Carrillo F.  
S C O P, México. 1967
3. DISEÑO Y COSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS  
Autores varios  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA, F. I. UNAM. 1994
4. INGENIERÍA DE LAS CARRETERAS  
Paul H. Wright  
LIMUSA, México. 1993
5. CARRETERAS, CALLES Y AEROPISTAS  
Raul Valle R.  
EL ATENEO, Barcelona. 1990
6. CAMINOS VOL. 1 Y 2  
José L. Escario  
DOSSAT, Madrid. 1984
7. LA INGENIERÍA DE LOS SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES  
Alfonso Rico y Hermilio del Castillo  
LIMUSA, México. 1984
8. INGENIERÍA DE CARRETERAS  
Clarkson H. Oglesby y Laurence I. Hews  
CECSA, México. 1980
9. LAS CARRETERAS MODERNAS  
Newman Edwin  
LABOR, México. 1955
10. CAMINOS Y TRASPORTES EN MÉXICO  
Sergio Ortiz H.  
S C T, México. 1994
11. MANUAL DE CAMINOS VECINALES  
René Etcharren  
ASOCIACIÓN MEXICANA DE CAMINOS, México. 1969
12. ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS TERRESTRES  
Fernando Olivara B.  
CECSA, México. 2000
13. NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES  
PAVIMENTOS Y TERRACERÍAS  
S C T México. 1987
14. EMULSIONES ASFÁLTICAS  
Gustavo Rivera E.  
REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERÍA  
México. 1977
15. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS  
J. Roger Martin  
AGUILAR, Madrid. 1962
16. EL PETRÓLEO  
Autores varios  
PEMEX, México. 1984
17. LAS CARRETERAS DE MÉXICO  
Autores varios  
S C T, México. 1964
18. CIEN AÑOS DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES EN  
MÉXICO  
Autores varios  
S C T, México. 1984
19. PROGRAMA NACIONAL DE AUTOPISTAS  
Autores varios  
S C T, México. 1994
20. INVESTIGACIÓN DE SUELOS PARA CONSTRUCCIÓN DE  
CARRETERAS  
Joseph E. Jones  
REVERTÉ, México. 1992
21. MECÁNICA DE SUELOS II  
Eulalio Juárez B. y Alfonso Rico R.  
LIMUSA, México. 1991
22. HISTORIA DE LAS OBRAS PÚBLICAS EN MÉXICO  
Francisco González C.  
S O P, México. 1987
23. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, MATERIALES  
PÉTREOS Y SU UTILIZACIÓN  
Autores varios  
S O P, México. 1987
24. MECÁNICA DE SUELOS  
Gregory P. Tschebotarioff  
AGUILAR, Madrid. 1978
25. GEOLOGÍA APLICADA A LA INGENIERÍA CIVIL  
Robert F. Karraw  
MC. GRAW GILL, México. 1986
26. NORMAS PARA EL MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS  
MATERIALES  
Autores diversos  
S C T, México. 1987
27. IMPORTANCIA QUE TIENEN LAS PRUEBAS DE LABORATO-  
RIO EN EL PROYECTO DE VÍAS DE COMUNICACIÓN  
Sergio Flores M.  
TÉSIS, F. I. UNAM. 1981