

42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

"INVESTIGACION SOBRE EL DESGASTE DE LOS  
MATERIALES PETREOS UTILIZADOS EN LA  
CARPETA DE RODAMIENTO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

CAROLYN HERNANDEZ FRANCO

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. HECTOR A. LEGORRETA CUEVAS



MEXICO, D. F.

2000

28 3340



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/043/99

Señorita  
CAROLYN HERNANDEZ FRANCO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacerle su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. HERNÁNDEZ A. LEGORRETA CUEVAS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"INVESTIGACION SOBRE EL DESGASTE DE LOS MATERIALES PETREOS UTILIZADOS EN LA CARPETA DE RODAMIENTO"**

- I. INTRODUCCION
- II. PAVIMENTOS
- III. MATERIALES PETREOS
- IV. PRINCIPALES PRUEBAS DE LABORATORIO
- V. EQUIPO DE LOS ANGELES
- VI. ENSAYES DE DESGASTE A MATERIALES DE LA CARPETA
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitario a 16 de marzo de 1999.  
EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg

*Handwritten notes and signatures:*  
 VoBo R.R. R...  
 13/4PT/CC  
 VoBo  
 21-JUL-00  
 13-4PT-2000

## AGRADECIMIENTOS

La ciencia sin religión es coja, la religión sin la ciencia es ciega.  
Estudia = Es-tu-día

Albert Einstein.

Anteriormente te he agradecido por la vida, por lo que soy, por lo que me das y hoy nuevamente te agradezco por haber concluido la licenciatura.

Por que fue una aventura bella y constructiva mi estancia en la escuela, me hiciste constante y forjaste en mí el entendimiento, me hiciste alegre, cultivaste en mí el sentido del humor que me quito las amarguras del alma, me hiciste ser paciente para comenzar de nuevo muchas veces sin caer en la desesperación, me diste el gozo de tener amigos y creaste grandes ideales y experiencias positivas.

Una y otra vez agradeceré a Dios.

Hay muchas personas que me ayudaron a realizar está meta las cuales están en mi pensamiento y les agradezco de todo corazón; y las personas que están en mi alma en mi ser y que viviré y nunca acabaré de pagar y agradecer su oportunidad que me brindaron son las siguientes:

Con mucho cariño a mis **padres**:  
por que me dieron la vida, me cuidaron, educaron con ejemplos, por su apoyo, económico y moral, por que creyeron en mí, espero no haberlos defraudado y corresponderles como se merecen.

Pascual Hernández Pacheco  
Cecilia Franco de Montiel

Con mucho amor a mis **hermanas**:  
Por su comprensión y paciencia.

Norma Hernández Franco  
Yayoy Hernández Franco  
Jennifer Hernández Franco

Con mucho afecto a mis **amigos**:  
Que me permitieron compartir sus pensamientos, alegrías, tristezas, sueños y siempre me aconsejaron bien.

Marisol Castillo Valdez. (Soles)  
Claudia Leyva Suárez (Cachis)  
Ernesto Chávez Vega (Neto)  
Jennifer Hernández Franco (bichito)  
Marco A. Cabrera Martínez (Marco)

Con mucho respeto a los **ingenieros**:  
Que me orientaron, enseñaron y dieron su valioso tiempo, sin egoísmo.

Ing. Hector A. Legorreta Cuevas  
Ing. Juan Castillo Rivas  
Ing. Adán Ramos Bautista  
Arq. Javier Vargas Rodríguez

INDICE

**“INVESTIGACION SOBRE EL DESGASTE DE LOS MATERIALES PÉTREOS UTILIZADOS EN LA CARPETA DE RODAMIENTO”**

Introducción

**I Pavimentos**

I.1	Definición	-----	-1-
I.2	Estructura de los pavimentos	-----	-1-
I.2.1	Terreno natural	-----	-2-
I.2.2	Terracerías	-----	-3-
I.2.3	Carpeta de rodamiento	-----	-4-
I.3	Tipos de pavimentos	-----	-5-
I.3.1	Pavimentos flexibles	-----	-5-
I.3.2	Pavimentos rígidos	-----	-6-
I.3.3	Diferencia entre los dos tipos de pavimentos	-----	-8-
I.4	Aspectos generales para el diseño de pavimentos	-----	-9-
I.4.1	Principales Factores que afectan el diseño del pavimento	-----	-9-
I.4.2	Métodos para el diseño de pavimentos	-----	-10-

**II. Materiales pétreos**

II.1	Definición	-----	-11-
II.2	Localización de bancos de material	-----	-11-
II.2.1	Banco de ríos	-----	-12-
II.2.2	Depósitos	-----	-13-
II.2.3	Mantos de roca	-----	-13-
II.2.4	Conglomerados	-----	-13-
II.2.5	Aglomerados	-----	-14-
II.2.6	Zonas de pepena	-----	-14-
II.3	Exploración y muestreo (preliminar y definitiva)	-----	-14-
II.3.1	Exploración	-----	-14-
II.3.1.1	Estudios preliminares	-----	-15-
II.3.1.2	Estudios definitivos	-----	-16-
II.3.2	Muestreo	-----	-17-
II.4	Tratamiento de los materiales	-----	-21-
II.4.1	Eliminación a mano del desperdicio	-----	-22-
II.4.2	Disgregado	-----	-22-
II.4.3	Cribado	-----	-22-
II.4.4	Trituración	-----	-23-
II.4.5	Lavado de materiales	-----	-24-
II.4.6	Estabilización de materiales	-----	-24-

<b>III</b>	<b>Principales pruebas de laboratorio</b>		
III.1	Pruebas de clasificación	-----	-25-
III.1.1	Pruebas de clasificación para materiales pétreos	----	-25-
III.1.2	Pruebas de clasificación para materiales asfálticos	----	-34-
III.2	Pruebas de control y proyecto	-----	-37-
III.2.1	Pruebas de control	-----	-37-
III.2.1.1	Pruebas de compactación en el campo	----	-38-
III.2.1.2	Pruebas de compactación del laboratorio	----	-39-
III.2.1.2.1	Compactación estática y dinámica	----	-39-
III.2.2	Pruebas de proyecto	-----	-41-
III.2.2.1	Porter modificada	-----	-41-
III.2.2.2	Pruebas de Hveem	-----	-42-
III.2.2.3	Pruebas cuerpo de ingenieros	-----	-43-
III.3	Pruebas de desgaste	-----	-44-
III.3.1	Tambor de Deval	-----	-44-
III.3.2	Desgaste los Angeles	-----	-47-
III.3.3	Prueba de intemperismo acelerado	-----	-47-
<b>IV</b>	<b>Equipo de Los Ángeles</b>		
IV.1	Descripción	-----	-53-
IV.2	Diseño de la cimentación	-----	-57-
IV.3	Procedimiento de la prueba	-----	-58-
IV.4	Procesamiento de los datos	-----	-61-
IV.5	Ensayo de desgaste a materiales pétreos	-----	-63-
<b>V</b>	<b>Ensayo de desgaste a materiales de la carpeta</b>		
V.1	Prueba de los Ángeles	-----	-74-
V.2	Prueba de intemperismo acelerado	-----	-76-
V.3	Análisis de resultados	-----	-73-

## Conclusiones

## Bibliografía

## IIINTRODUCCION

El objetivo principal de este trabajo esta enfocado en mostrar el uso e importancia del Equipo de Abrasión de Los Angeles, presente actualmente en la Facultad de Ingeniería y que fue adquirido a finales de 1998 mediante el programa UNAM-BID para promover las prácticas destinados a los alumnos, las investigaciones y apoyar los convenios que establece la F.I. con otras instituciones. El contar con este equipo permite solicitar una partida dentro del presupuesto para la adquisición de más equipo, destinarlo al laboratorio de Mecánica de Suelos, dentro del área de pavimentos.

El trabajo que se desarrolla es indispensable para la formación del ingeniero civil en las ramas de sistemas de transporte, mecánica de suelos y construcción

Primeramente se muestra como esta formado estructuralmente el pavimento y su clasificación. Se da una descripción general de los materiales pétreos aprovechables para la construcción de pavimentos, así como su obtención y tratamiento que se deben realizar para su correcto uso.

Se menciona las principales pruebas de laboratorio para obtener las características de los materiales que se llevan a cabo en la Secretaria de Comunicaciones y Transportes y se habla de las diferentes pruebas de desgaste.

Ensayando los materiales más representativos que son seis; basalto, riolita, andesita, caliza, material de río (redondeado) y tezontle; en la parte final de este trabajo, se enumeran los materiales ensayados con el equipo de S.C.T con el equipo de la F.I.

También la prueba de los Angeles se compara con la de intemperismo acelerado, ambas pruebas de desgaste y que solo se hacen para superficies de rodamiento.

## ANTECEDENTES

El pavimento utilizado tradicionalmente es el asfáltico, de manera que actualmente más del 99% de los cerca de 95,000 km pavimentados con que cuenta la red carretera mexicana son de este tipo.

El desarrollo económico del país en el último decenio ha producido que los niveles de transito alcancen volúmenes muy altos y además con proporciones y especificaciones de vehiculos muy altas y es que el 30% o más de los camiones de carga, son usuales.

Por la razón anterior en los nuevos proyectos, se debe estudiar el costo completo del ciclo de vida de los pavimentos que contempla costos de construcción, conservación rutinaria, reconstrucción periódica.

Los caminos con el tiempo se deterioran por infinidad de factores teniendo la necesidad de reconstruirlos. Una conservación adecuada se traduce en un buen comportamiento del camino hasta finalizar su vida útil y un ahorro considerable en el presupuesto estipulado.

Durante mucho tiempo, por razones de economía se abusó del empleo de materiales de baja resistencia y deformables que no es conveniente emplear por el elevado costo de conservación teniendo muchas veces que desechar el camino para construir otro nuevo al lado.

Para conocer la calidad de los materiales, es necesario la utilización del laboratorio de materiales, en donde se ejecutan las pruebas adecuadas al caso. Una prueba es el conjunto de medidas sistematizadas, efectuadas a un espécimen elaborado.

Es importante lograr una buena clasificación del material del suelo que se estudie y debe ser suficiente para inferir los problemas que pueden presentarse en una obra de tierra, permitiendo su estimación cualitativa para poder decidir si es posible utilizar el material en alguna forma.

Existen diversas pruebas de laboratorio, necesarias para calificar al material, las principales se pueden agrupar como; pruebas de clasificación, control, proyecto y pruebas de desgaste; estas últimas es a la que se enfoca primordialmente el trabajo dado que una de ellas es la prueba de Los Ángeles.



## **I PAVIMENTOS**

### **I.1 Definición**

Se define pavimento a la estructura artificial, formada por un conjunto de capas comprendida entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento. Esta estructura de la carretera tiene por objeto aminorar el efecto de las cargas estáticas o en movimientos de los vehículos a la terracerías, pero en una superficie más amplia, con la cual se logra disminuir las presiones que deben soportar las terracerías, resistiendo los efectos destructivos del tránsito y de los agentes atmosféricos, para que estas puedan funcionar adecuadamente. Como se trata de una estructura vial, debe tener requisitos para comportarse como tal, estos requisitos son los siguientes:

- Debe ser estable, es decir, debe tener la resistencia necesaria para soportar las cargas estáticas y dinámicas de rodamiento.
- Debe tener una superficie tersa para proporcionar comodidad a los usuarios. Esta superficie además debe ser resistente al desgaste ocasionado por las llantas de los vehículos.
- Debe tener una gran resistencia a los efectos del intemperismo.
- Debe ser impermeable.
- Debe tener adecuadas pendientes transversales y longitudinales para su mejor funcionamiento.

### **I.2 Estructura de los pavimentos**

La estructura de un pavimento, figura 1, esta formada por:

1. Terreno natural.
2. Terracerías (cuerpo de terraplén, la capa subrasante, las diferentes capas de sub-base y base).
3. Carpeta de rodamiento (asfáltica ó losa de concreto hidráulico).

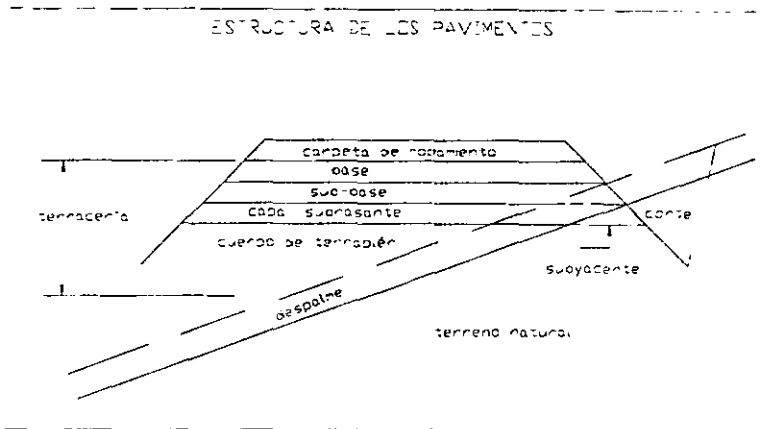


Figura 1. Estructura de los Pavimentos.

### I.2.1 Terreno natural

Terreno natural; se puede definir como la franja de terreno incluida en el derecho de vía, que se verá afectada en su estructura por la construcción de una obra vial y recibirá las cargas de tránsito distribuidas a través de la estructura vial.

En general, se puede decir que cuando la resistencia del terreno natural es mayor a  $1 \text{ kg/cm}^2$  y los terraplenes o cortes no sean mayores a 3 m el comportamiento de la estructura es adecuado y cuando no se tienen estas condiciones, se requiere la ejecución de estudios de mecánica de suelos relativos a la resistencia y a la deformación, a través de pruebas triaxiales y de consolidación, así como estudios de estabilización de taludes. Es conveniente que una vez que se haya aceptado la ruta por la que se construirá la obra se realicen estudios geológicos, de mecánica de suelos e hidráulicos para la correcta proyección y ejecución de la obra.

## I.2.2 Terracerías

Pueden ser definidas como los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre; la extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra.

- **CUERPO DE TERRAPLEN.** La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo en lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas del tránsito transferidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para transmitirlos en forma adecuada, al terreno natural de acuerdo a su resistencia.
- **LÍNEA SUBYACENTE:** Es una línea imaginaria que divide el cuerpo de terraplén con la subrasante.
- **SUBRASANTE.** Es la capa divisoria entre el pavimento y las terracerías sus funciones principales que puede desempeñar son:

- Recibir y resistir las cargas de tránsito; transmitidas por el pavimento.
- Transmitir y distribuir adecuadamente las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén.

Estas dos funciones son de tipo estructural y son comunes a todas las capas de la secciones transversales de una vía terrestre, otras funciones adicionales son:

- Evitar que cuando el cuerpo del terraplén está formada de materiales finos plásticos, estos contaminen el pavimento. El tamaño de las partículas deberá estar entre las finas correspondientes al cuerpo de terraplén y las granulares del pavimento.
- Evitar que el pavimento sea absorbido por la terracería, cuando ésta esté formada principalmente por fragmentos de roca (pedraplenes). En este caso, la granulometría del material debe ser intermedia, entre los fragmentos de roca del cuerpo del terraplén y los granulares del pavimento (base o sub-base).
- Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejan en la superficie de rodamiento.
- Uniformizar los espesores de pavimento, principalmente cuando se tiene mucha variación de los materiales de terracería a lo largo del camino.
- Economizar espesores de pavimento, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren un espesor grande.

- **SUB-BASE y BASE.** Sobre la capa subrasante se construye la sub-base y posteriormente la base. En los pavimentos de tipo flexibles en ocasiones no se requiere la sub-base y los pavimentos rígidos no requieren base.

La sub-base y la base tienen finalidades y características semejantes, sin embargo, las primeras pueden ser de menor calidad y ambas:

- Absorben deformaciones perjudiciales a la subrasante
- Reciben y resisten las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losa).
- Transmitir las cargas adecuadamente distribuidas a la terracería.
- Impiden que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad.
- En caso de que exista alguna introducción de agua por la parte superior, permitir que ésta descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto del bombeo, o sobreelevación, pueda ser desalojada hacia el exterior.

### **I.2.3 Carpeta de rodamiento**

- **ASFALTICA.** Es la capa superior de un pavimento flexible y proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos. Se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Los tres tipos de carpeta más usados en el país: 1) Por riego, 2) Mezclas en el lugar, y 3) Concretos asfálticos.
- **LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO.** La parte superior de los pavimentos rígidos, son las losas de concreto hidráulico que se construyen sobre la sub-base y proporcionan la superficie de rodamiento. El concreto hidráulico es un material artificial, que se elabora mezclando parte de agua y cemento Portland, con arena y grava en proporciones tales que se produzcan la resistencia y la densidad deseada.

Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y granulometría.

### I.3 Tipos de pavimentos

Los pavimentos pueden ser de dos tipos rígidos y flexibles. Los pavimentos rígidos son aquellos que transmiten la carga, aplicada por el tránsito, de manera uniforme en una extensión considerable y a distancia apreciable de su punto de aplicación, en cambio se consideran como pavimentos flexibles aquellos que transmiten a la subrasante las cargas que reciben, solo en las zonas próximas a la aplicación de la carga.

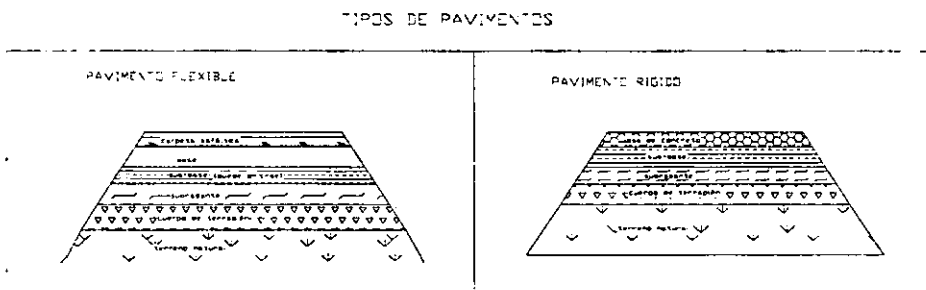


Figura 2 Tipos de Pavimentos.

#### I.3.1 Pavimentos flexibles

Los pavimentos con una superficie de rodamiento asfáltica con bases granulares y en algunos casos sub-bases granulares, son los pavimentos flexibles típicos. A medida que la base se construye de suelo-cemento o suelo-asfalto, con una rigidez y resistencia mecánica alta, su flexibilidad puede desaparecer y tener un comportamiento rígido o semirígido.

La carpeta asfáltica es la capa o capas formadas de agregados pétreos y asfalto, colocadas sobre la capa base. En pavimentos de poco a regular tránsito, se coloca una carpeta de un solo espesor y en casos de tránsito intenso y pesado, el espesor de la carpeta asfáltica se divide en carpeta de desgaste y capa de liga.

La función de la carpeta asfáltica es proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos. Debe tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas, debe ser antiderrapante y no deformarse.

El pavimento de concreto asfáltico es una mezcla de agregado (grava y arena) y asfalto hecha a altas temperaturas mediante un proceso de mezclado en planta. El espesor del pavimento será en relación al incremento en la capacidad de carga, es decir, para un pavimento con una gran intensidad de cargas aplicadas, el pavimento será de mayor espesor.

La función en el diseño del pavimento sin importar los espesores, es transmitir los esfuerzos a las capas inferiores hasta que sean anuladas, llegando en ocasiones hasta el terreno de cimentación.

Una de las cosas de gran importancia para la estabilidad de un pavimento reside en la capacidad de carga que tenga el terreno de cimentación, esto permite variar los espesores y el tipo de material usado en el diseño.

### **I.3.2 Pavimentos rígidos**

El pavimento rígido es una estructura de concreto simple o reforzado, que puede apoyarse en la sub-base o directamente en la capa subrasante.

Los pavimentos típicos rígidos son los de concreto. Estos pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área muy amplia de la subrasante. La losa, por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga, ello absorbe prácticamente toda la carga. Estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico, de acuerdo al adelanto tecnológico y científico correspondiente a las estructuras de concreto.

Los pavimentos de concreto hidráulico (pavimento rígido), tienen como elemento estructural fundamentalmente una losa de concreto. Cuando las características del terreno de apoyo son de buena calidad se puede prescindir de la construcción de una sub-base y apoyarse directamente sobre la subrasante.

Además de las propiedades de la infraestructura, es necesario tener un gran control de calidad en la elaboración del concreto ya que estará sujeto a esfuerzos de compresión relativamente altos, siendo esta una característica favorable en el concreto, pero además se verá sujeto a flexión y en este aspecto su resistencia es baja. El concreto, como otros materiales, se dilata al aumentar la temperatura y se contrae cuando disminuye. Como la madera, se dilata al humedecerse, y se contrae al secarse después del colado, a medida

que el mortero se endurece y el cemento se hidrata. Bajo ciertas condiciones su volumen aumenta con la edad. Debido a estas propiedades y a que los elementos de concreto están expuestos a los agentes naturales, aquellos varían de longitud según la hora del día, las estaciones y a las variaciones del tiempo. Además, la variación de la temperatura diaria, de las estaciones y la diferencia de humedad entre la parte superior e inferior de las losas, introducen una tendencia a inclinarse y curvarse. Otras complicaciones intervienen debido a que los cimientos que soportan las losas se deforman cuando los caminos se cargan y se recuperan cuando las cargas son eliminadas. Estas complicaciones hacen que la determinación teórica de los esfuerzos en las losas de pavimento de concreto sea extremadamente difícil.

En cuanto a la superficie de apoyo de la losa, se ha tenido una mayor preocupación de la calidad a partir de la segunda Guerra Mundial, debido al aumento cada vez mayor de vehículos y actualmente con la aparición de vehículos sumamente pesados y aviones de gran tamaño, en el caso de aeropuertos, de modo que se ha establecido como norma la construcción de una capa sub-base. Esta sub-base consiste en una o más capas de materiales granulares, muchas veces estabilizados y las principales funciones de la sub-base en un pavimento rígido son las siguientes:

- 1) Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.
- 2) Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo respecto a lo que es común en la terracería y subrasante.
- 3) Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías a la subrasante.
- 4) Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación en los suelos de las terracerías o de la capa subrasante.

El talón de Aquiles de los pavimentos de concreto, son las juntas que se tienen que diseñar y construir para controlar los cambios de volumen, inevitables y que se producen en ellos por los cambios de temperatura. Los pavimentos de refuerzo continuo y los preesforzados, se diseñan y construyen sin juntas transversales de concentración y expansión, excepto al llegar a un cruce o a una estructura fija. Sólo se construyen juntas de construcción. Estos pavimentos son muy caros y de tecnología muy avanzada. Los pavimentos de concreto son muy adecuados para calles de ciudades o plantas industriales.

### I.3.3 Diferencia entre los dos tipos de pavimentos

La diferencia esencial entre los dos tipos de pavimentos, flexibles y rígidos, es la manera en que se distribuyen las cargas sobre la subrasante. El pavimento rígido, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, tiende a distribuir la carga sobre una zona relativamente amplia en el suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa. El factor principal considerado en el proyecto de los pavimentos rígidos, es la resistencia estructural del concreto. Por esta razón, pequeñas variaciones en la resistencia de la subrasante tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento.

En la XIII Reunión Nacional de Vías Terrestre, hacen un estudio comparativo entre pavimentos flexibles y rígidos, dicho artículo lleva como título "Algunos Aspectos Comparativos entre Pavimentos Flexibles y Rígidos"; cuyos autores son: Alfonso Rico Rodríguez, Alberto Mendoza Díaz, Rodolfo Téllez Gutiérrez, Emilio Mayoral Grajeda del Instituto Mexicano del Transporte; que se basan en las dos siguientes vertientes:

- La económica que se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de los vehículos que transitan sobre el pavimento considerado, con énfasis especial en los vehículos de carga.
- Lo funcional, entendiéndolo como tal, la desventaja o inconveniente que se tenga por las dificultades de tránsito que emanen de acciones de conservación importantes que conlleven interrupciones en la fluidez del mismo.

Basados en los puntos anteriores los autores llegan a las siguientes conclusiones:

"Los dos tipos de pavimentos ofrecen opciones posibles para la buena construcción de carreteras. En ambos tipos de estructura parece no poder existir una política más perjudicial que el ahorro en la inversión inicial de construcción, sin su debido balanceo con los costos de conservación y de operación del transporte. Este balanceo puede aceptar diversas opciones estratégicas, de acuerdo con los correspondientes análisis de planeación.

- El pavimento rígido empieza a resultar preferente a medida que los tránsitos van siendo mayores. Esta preferencia va acentuándose para tránsito de 20 mil vehículos o mayores. Debe notarse a este respecto que en cualquier caso los pavimentos rígidos requieren de acciones de conservación mayor y más espaciadas, estas acciones implican costos no considerados en este trabajo y que se deben a dilataciones y



molestias del tránsito durante los periodos de reparación. Este hecho tiende a acentuar la ventaja del uso de los pavimentos rígidos bajo tránsitos importantes.

- En cada caso debe realizarse un análisis particular que permita tomar en cuenta la disponibilidad de material, a si como el precio del petróleo. Para cada caso, puede resultar más conveniente uno u otro. Se debe de evitar dejar deteriorar excesivamente, ya que los costos de conservación serían significativamente elevados, así como el costo de oportunidad de las inversiones.<sup>1</sup>

#### **I.4 Aspectos generales para el diseño de pavimentos**

Actualmente existe una gran variedad de métodos de diseño para pavimentos, presentando diferencias notables tanto en la forma de atacar el problema, como su respaldo teórico experimental. Se puede decir que hasta la fecha no hay un método general, preciso y experimental comprobado. Esto se debe principalmente, a que un camino, es una estructura la cual está sujeta a una serie de cargas concentradas las cuales son transmitidas por los vehículos a través de sus ejes, lógicamente de esta manera los métodos de diseño de pavimentos, deberían estar basados en fórmulas en las que aparecieran como argumento principal, la intensidad de las cargas por eje y el número de repeticiones correspondiente contra las características estructurales del pavimento. Sin embargo la mayoría de los criterios se basa en consideraciones estáticas.

##### **I.4.1 Principales Factores que afectan el diseño del pavimento**

- Grupo 1) Características de los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante: Los materiales que constituyen la terracería y la capa subrasante en un camino juegan un papel importante en el espesor del pavimento. De aquí tiene gran importancia la determinación de las características físicas de dichos materiales
- Grupo 2) El clima es el principal agente por el cual los pavimentos sufren daños; uno de los factores es debido a la precipitación pluvial ya sea por su acción directa ó por la elevación de las aguas freáticas, otro son las heladas, afortunadamente

<sup>1</sup> XIII Reunión Nacional De Vías Terrestres, Situación actual y futura de la infraestructura del transporte en México., Proyección al siglo XXI, Memoria, Tomo I. (Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.)

en México no lo tenemos, otro factor son los cambios bruscos de temperatura por afectar a los pavimentos, y en especial a los rígidos ya que la losa sufre continuas dilataciones y contracciones.

- Grupo 3) El tránsito, las cargas a la que va a estar sujeto el pavimento las produce el tránsito del cual debemos conocer la magnitud de esas cargas, las presiones de inflado de las llantas, su área de contacto, así como la disposición y arreglo en el vehículo.

#### **I.4.2 Métodos para el diseño de pavimentos**

Los sistemas de diseño actualmente en uso se pueden clasificar en cuatro categorías:

- 1) Métodos empíricos que no usan pruebas de resistencia del suelo, si no que el diseño de espesores se basa en la experiencia del tipo de pavimentos requeridos por ejes y suelos similares. La identificación de los suelos se hace en pruebas de clasificación tales como granulometría y límites. Dentro de esta clase queda comprendido el sistema del Índice de Grupo del U.S. Highway y Engineers.
- 2) Métodos empíricos que usan pruebas de resistencia del suelo. Las pruebas son generalmente del tipo de penetración o de cargas, y solo son aplicables para su método de diseño asociado. El sistema más aplicado dentro de este grupo es el del valor Relativo de Soporte por el método de California (CBR), que tiene una gran cantidad de variantes, según los lugares donde se aplica. El método de U.S. Army Corps Engineers y el método empleado actualmente por la secretaría de Obras Públicas, son sus principales variantes.
- 3) Métodos basados principalmente en teoría y datos experimentales. En la mayoría de los casos se determinan las características fundamentales esfuerzos de formación de la sub-rasante y materiales del pavimento mediante pruebas de esfuerzo cortante, o de carga, aplicándose los resultados en combinación con alguna teoría de distribución de esfuerzos. El método de Kansas se puede considerar representativo de este grupo.
- 4) Métodos teóricos, basados en algún estudio matemático que relaciona espesores con esfuerzos y deformaciones. El método de Burmister, para análisis de esfuerzos en un sistema de dos capas, es típico de este grupo.

## **II MATERIALES PÉTREOS**

### **II.1 Definición**

Con el nombre de rocas, se comprenden las especies geológicas cuyo conjunto forman la corteza terrestre, el concepto geológico de la roca es mucho más amplio que el concepto vulgar suelo, ya que el geólogo considera como tales, todos los cuerpos que forman la corteza terrestre, ya sea material suelto o compacto.

Es posible clasificar las rocas basándose en su composición química y en su modo de formación que se divide en dos grandes grupos: Las de origen interno, debidas a la acción de las fuerzas endógenas y las rocas de origen externo, formadas por la sedimentación de materiales de erosión o por la aglomeración de restos de organismos. También es posible clasificarlas en forma práctica como rocas duras o blandas. Ambas son empleadas por la construcción de carreteras, aunque naturalmente es preferible el uso de las rocas duras que son más resistentes.

Los materiales pétreos que se emplean en la construcción de pavimentos constituyen uno de los aspectos principales para que estas estructuras proporcionen con eficiencia el servicio y duración, dentro de las condiciones previstas en el proyecto, que se espera de ellas.

Se deben de seleccionar y procesar en forma congruente, el tipo de roca, con el uso a que se les destine a fin de lograr en los pavimentos, el menor costo posible y la calidad que se requiera en cada caso para resistir adecuadamente los efectos impuestos por el tránsito y el medio ambiente.

### **II.2 Localización de bancos de material**

El ingeniero encargado de las obras, deberá informar al ingeniero de laboratorio y de campo, la cantidad de material necesario para la ejecución de la obra y el tamaño máximo que debe ser usado, para que con estos datos se efectúen las explotaciones necesarias a fin de localizar bancos de materiales apropiados para la construcción, tanto por lo que se refiere a la calidad como a cantidad.

En los trabajos preliminares para la localización de bancos de materiales, es necesario contar con un plano de la región por explorar, de preferencia que sea fotográfico y este fotointerpretado.

Los aspectos básicos que deben considerarse para seleccionar los bancos, entre otros son los siguientes: calidad, accesibilidad, facilidad de explotación, volumen disponible, tratamiento y costos.

Los bancos de materiales se presentan en la naturaleza en varias formas siendo las más comunes las siguientes:

### **II.2.1 Banco de ríos**

Por bancos de ríos se entiende los depósitos de cantos redondeados y arenas que se encuentran en los cauces de los ríos, cauces abandonados ó en bancos de las riberas. Se forman por la sedimentación de los materiales que arrastran los ríos desde su nacimiento en las partes altas de las montañas hasta su desembocadura en los mares o lagos; a través de su recorrido se van depositando los materiales arrastrados, quedando los boleos en las zonas de pendiente fuerte del cauce y por consiguiente donde las velocidades del agua son elevadas, en otras donde la pendiente del canal es menos fuerte y la velocidad es menor, se depositan gravas, arenas, limos y arcillas hasta llegar a las desembocaduras o sus proximidades en donde se depositan materiales finos. La formación de playones en las márgenes de los ríos, principalmente en las curvas del cauce, se debe a las diferentes velocidades que alcanzan la corriente según la sección transversal del río. Los bancos de río proporcionan materiales de buena calidad, de fácil y económica explotación, sin embargo, las arenas de los ríos de zonas cálidas contienen generalmente una fuerte cantidad de material orgánico. En general presentan una buena graduación en el tamaño de los materiales que los constituyen, sin embargo en ocasiones por un proceso de lavado natural las partículas finas como las arenas, los limos o pequeñas cantidades de arcilla, son arrastradas quedando materiales inertes y/o mal graduados, los que en ciertas etapas de la construcción de las obras no son muy adecuados; en otras ocasiones, debido a las crecientes de los ríos, los playones son cubiertos con tirantes reducidos de agua con velocidades de traslado bajas, originando que se sedimenten limos y arcillas, lo cual puede dar origen a bancos con materiales de características plásticas que no son deseables en las obras.

### **II.2.2 Depósitos**

Los depósitos en general están formados por materiales que llenaron algunas depresiones del terreno natural y que llegaron ahí por medio de arrastre fluvial, glacial o por eyección de volcanes, entre otros. En ocasiones se encuentran prácticamente descubiertos y en otras cubiertos por otros materiales también arrastrados. Los referidos depósitos pueden estar compuestos por fragmentos de roca, gravas, arena, limo, arcillas, cenizas volcánicas o fragmentos de origen piroclástico.

### **II.2.3 Mantos de roca**

En general, los mantos de roca presentan una capa intemperizada que puede tener varios metros de espesor o en su lugar cubiertos por material de arrastre (despalme), en ocasiones la roca sana aflora debido a la erosión de la capa alterada o por fenómenos y formaciones geológicas que descubre dichos mantos. Las rocas que constituyen los referidos bancos pueden ser de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

Entre las rocas ígneas más comunes están el basalto, la riolita, la andesita, el granito, el grabo y las tobas; Entre las sedimentarias están las calizas, las areniscas, los conglomerados, las brechas, y entre las metamórficas el mármol, cuarcito, pizarra y el gneis.

La forma en que se presentan las rocas en los mantos puede ser en masas sólidas y duras, en formas estratificadas, en fragmentos y en algunas otras variantes, caracterizadas en ocasiones por el origen de la roca.

### **II.2.4 Conglomerados**

Los conglomerados son formaciones de origen sedimentario y están constituidos por gravas con o sin fragmentos de roca y cantidades apreciables de arena, que generalmente han sido depositadas por corrientes fluviales, todo lo cual ha sido cementado posteriormente con materiales acarreados. En estos bancos las gravas y fragmentos son de forma redondeada y su cementación puede ser fuerte, como en los conglomerados calizos, o baja, dependiendo del tipo de los materiales cementantes.

Los bancos de conglomerados se encuentran generalmente en las proximidades de corrientes fluviales, en cauces antiguos; en algunas ocasiones se presentan formando estratos de espesor considerable y en otras formando lomas, originadas probablemente por erosiones o por movimientos telúricos.

### **II.2.5      Aglomerados**

Los aglomerados son formaciones de mezclas heterogéneas, poco o nada cementadas de gravas, arenas, limos y arcillas, los cuales son de origen sedimentario. También materiales semejantes constituidos por fragmentos angulosos de origen ígneo, a los que se les llama aglomerados

### **II.2.6      Zonas de pepena**

En algunas regiones del país se presentan zonas que sobre la superficie del suelo se encuentran fragmentos duros de roca, cuyo origen geológico puede ser variado. Se considera que dichas zonas a las que se les llama de pepena, se forman por erosión de la roca, o por erupciones volcánicas, quedando sobre el terreno los corazones o fragmentos más duros, de un tamaño tal que puede ser cargados a mano, aunque a veces se puede necesitar, en algunos fragmentos grandes, el empleo de explosivos. Estos fragmentos se pueden encontrar limpios o cubiertos con una capa de arcilla, probablemente resultante de la desintegración de la roca original.

## **II.3 Exploración y muestreo (preliminar y definitiva)**

### **II.3.1      Exploración**

Según la topografía de la región, tipo de vegetación, extensión del área por explorar, vías de acceso existentes y demás características, se elige el procedimiento de exploración a efectuar para recabar los datos necesarios de los bancos probables que se encuentren en el lugar.

Los estudios que generalmente se efectúan a los probables bancos de materiales, pueden ser preliminares, definitivos o para fines de inventario. Estos últimos son los más

sencillos por tratarse en general de bancos que ya fueron estudiados y empleados con anterioridad.

### II.3.1.1 Estudios preliminares

Después de levantar un croquis del área probable del banco, se señalarán sus dimensiones aproximadas, incluyéndose en el mismo un esquema con su ubicación en relación con el camino o la obra donde se empleará, se ejecutarán algunos sondeos, por lo general pozos a cielo abierto y distribuidos adecuadamente en toda el área, los cuales se señalarán en el croquis.

Los referidos sondeos se llevarán a cabo anotados en el registro de cada uno de ellos, el espesor de la capa de despalme y el tipo de material, la estratigrafía de los materiales encontrados y los aprovechables indicando con claridad sus características, dureza o dificultad en su ataque, humedad natural, nivel de agua freática si se llega a encontrar, tipo del material subyacente al material aprovechable, tratamiento y uso probable del material, época del año en que se efectuaron los sondeos y todas las observaciones de campo que se consideren necesarias.

Una vez efectuados los pozos a cielo abierto, se procederá a tomar una muestra representativa de cada sondeo, identificándola en forma adecuada a fin de evitar confusiones en el laboratorio. A todas las muestras se les efectuarán ensayos completos de calidad y de acuerdo con los resultados que se obtengan, se podrá juzgar si del estudio preliminar se pasa al definitivo o bien, por la calidad resultante de los materiales se elimina el banco o se amplía el estudio hacia alguna otra zona, que por el resultado de los ensayos y las observaciones de campo, resulte conveniente estudiar por considerar que posiblemente hacia ella se extienda el material de buena calidad. En algunas ocasiones se hacen estudios geofísicos, con objeto de detectar con mayor aproximación el área que conviene sondear y hacer un muestreo. En los casos en que los bancos se localicen en cortes naturales, se aprovecharán éstos para tomar en sus paredes muestras directas, previa eliminación de la capa superficial que se encuentre alterada por acción del intemperismo; dichas muestras complementarán a las obtenidas en los sondeos o pozos a cielo abierto. Lo expuesto anteriormente es aplicable a los materiales que son susceptibles de atacarse con pico y pala, ya que en caso de no ser así, el estudio preliminar se limitaría a efectuar algunas barrenaciones hasta una profundidad adecuada, y considerando el tipo y características físicas del polvo que se extraiga, la dificultad en la

barrenación y algunas otras observaciones de campo hechas durante este trabajo (grietas, rellenos de fisura, etc.), se podrá definir si se pasa al estudio definitivo o se concluye que no es conveniente efectuarlo

### II.3.1.2 Estudios definitivos

Si el estudio preliminar ha conducido al definitivo, el croquis del banco se debe efectuar con mayor precisión ubicando con respecto a esté en donde se hará el camino, se medirá con exactitud sus dimensiones y estacándolo para delimitar la zona de los materiales aprovechables; es muy importante determinar con mayor aproximación el volumen de material aprovechable, teniendo en cuenta el área estudiada aprovechable y el espesor promedio resultante de la capa o capas de materiales a utilizar, deduciendo también los volúmenes de los desperdicios que llegarán a tener.

En el estudio definitivo es conveniente distribuir los pozos a cielo abierto en forma de retícula de tal manera que la distancia entre vértices adyacentes sea de 20 a 100 m, según la uniformidad, tipo de los materiales y espesores aprovechables; además, es aconsejable para su fácil identificación, poner una estaca a un lado del sondeo con su número correspondiente; también deberá llevarse un registro de cada sondeo en donde se señalen datos como los indicados para los sondeos preliminares y además los espesores de los diferentes materiales encontrados, clasificación y todos los datos que se consideren de interés. Terminados los sondeos se tomará una muestra representativa en cantidad suficiente del material extraído de cada uno, identificándola correctamente para evitar errores en el laboratorio; posteriormente a cada muestra se harán los ensayos de calidad correspondientes y en el caso en donde las características resulten uniformes, se obtendrá por cuarteo una muestra representativa de material del banco o bien, si hay algunas zonas con características diferentes, se obtendrán muestras representativas de éstas por medio de los materiales extraídos de los sondeos de cada zona a las cuales se les harán los ensayos de calidad correspondiente y se les determinarán los porcentajes de las partículas retenidas en las mallas de diferente abertura según sea el destino del material (revestimiento sub-base, base, carpeta asfáltica, sello), así como el tamaño máximo de las mismas, con lo cual se podrá definir el tratamiento probable a que deberán sujetarse dichos materiales.

Lo anterior es aplicable al caso de bancos en los que los sondeos se pueden hacer con pico y pala, ya que en el caso de que esto no sea posible, se procederá a efectuar



algunos sondeos a cielo abierto por medio de explosivos y a ejecutar algunas otras barrenaciones para determinar el área y espesor del material aprovechable y como consecuencia su volumen. De los sondeos a cielo abierto se tomarán muestras representativas, las cuales en el laboratorio se someterán a trituración por medio de una máquina o por marreo, a fin de poder efectuar todos los ensayos de calidad, una vez conocidos los resultados de los ensayos de calidad, el tratamiento aplicado en el laboratorio para obtener material trabajable (disgregado, cribado, triturado parcial o total, lavado, etc.), el volumen de material disponible y su ubicación, se estará en posibilidad de recomendar el banco y su utilización, según las especificaciones que cumpla.

### II.3.2 Muestreo

El muestreo consiste en la obtención de una o varias porciones representativas del material seleccionado, generalmente, mediante pozos y/o canales verticales, para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias con el fin de juzgar su calidad; incluyendo también las operaciones complementarias de envase, identificación y transporte de las muestras. La obtención de las referidas muestras puede efectuarse en áreas de estudio de posibles bancos de materiales, en bancos ya localizados, en plantas de producción o de tratamiento, en almacenamientos y en el lugar de utilización.

El número y tamaño de la muestra depende del volumen y homogeneidad del material por muestrear, así como del estudio que se requiera llevar a cabo. Cuando los materiales presentan poca variación en sus características, el número de muestras será menor y el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los bancos o fuentes de abastecimiento heterogéneos, y en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos. Cuando se trate de bancos, las muestras deberán tomarse hasta una profundidad que corresponda al nivel más bajo probable de explotación.

El muestreo se efectúa de la siguiente manera:

- A) En el caso de zonas probables de explotación y de bancos, se tomará en cuenta lo siguiente:
  - A.a) El muestreo tiene por objeto obtener porciones representativas del material que constituye cada banco, a efecto de conocer su calidad y el volumen aprovechable.

Como complemento se definen entre otros aspectos; la ubicación, topografía, humedad, despilme, posible zona y forma de ataque, para determinar si es conveniente la explotación de dicho material. Los bancos que comúnmente se muestran son las formaciones de roca, fragmentos de roca y suelos, depósitos originados por acarreo y piedras de pepena. Generalmente, es necesario efectuar un muestreo PRELIMINAR y uno definitivo; el primero, se efectúa con el objeto de conocer en forma rápida las características de las zonas probables de explotación y en caso de obtener resultados satisfactorios, se lleva a cabo el muestreo definitivo con el objeto de verificar en forma más completa si el material cumple con los requisitos de calidad especificados y si es suficiente el volumen disponible.

- A.b) Previamente a la obtención de las muestras, deberá determinarse la localización de los lugares de muestreo de acuerdo con el tipo de estudio que se desee llevar a cabo. Tratándose de muestreos preliminares de suelos, se harán como mínimo, dos sondeos en la zona más probable de explotación en estudio, o bien, cuando dicha zona presenta frentes abiertos, se harán dos canales o ranuras sobre el talud: tratándose de rocas, se hará cuando menos un sondeo, ya sea en zonas probables de explotación o de bancos. En el estudio DEFINITIVO, se harán sondeos a cada 50 m, aproximadamente, los cuales se distribuirán en forma de cuadrícula, dependiendo de la homogeneidad del material por muestrear y en caso de que éste sea heterogéneo, de acuerdo con su variabilidad se intercalarán sondeos adicionales. Cuando se tengan áreas pequeñas en estudio, la distancia de 50 m podrá reducirse, como en el caso de materiales cementantes y materiales de mejoramiento. En los frentes abiertos, se efectuarán canales a cada 50 m o menos, según la amplitud del frente y la homogeneidad del material en estudio.
- A.c) Para la obtención de las muestras, se procederá en términos generales como se indica:
- Se elimina la capa de tierra vegetal o material superficial alterado y se excavan pozos a cielo abierto, que tengan paredes sensiblemente alteradas y verticales, las dimensiones son las mínimas convenientes para facilitar las maniobras y que ofrezcan seguridad durante las mismas. En el caso de frentes abiertos, se elimina de las zonas en que se practicarán los canales, el material superficial que por estar expuesto a la intemperie esté alterado; dichos canales serán de sección transversal uniforme, con profundidades no menor de 25 cm y abarcarán todo el

espesor por muestrear. Cada muestra, tanto para el estudio preliminar como para el definitivo, pesará como mínimo 50 Kg

- En suelos con apariencia homogénea, se obtendrá una muestra integral abriendo un canal en los casos que exista frente; además, se muestreará el área probable de explotación, tomando una muestra de cada sondeo o pozo, para lo cual se hará un canal en una de las paredes de dicho sondeo y el material así extraído se juntará en una lona y se cuarteará en ésta para formar la muestra. Cuando el banco sea heterogéneo, es decir, que esté formado por diferentes estratos, se tomará como mínimo una muestra por cada uno de dichos estratos y, si se requiere, se tomarán muestras integrales que representen todos los estratos en la proporción que estimativamente presentan en su estado natural.
- Cuando se trate de afloramientos o frentes abiertos en roca, se tomarán fragmentos de diferentes lugares del área expuesta, los cuales servirán como orientación acerca de la calidad del material. Para definir el volumen y calidad del material que constituye un banco, se efectuarán sondeos a la profundidad necesaria, ya sea a cielo abierto, mediante el uso de explosivos o con máquinas perforadoras del tipo rotatorio para obtener corazones de la roca.

B) En el caso de plantas de tratamiento, se considera:

- B.a) El muestreo tiene como objetivos fundamentales conocer la calidad para orientar o encauzar la producción de los materiales pétreos; o bien, obtener la información de las características de los materiales producidos durante un lapso determinado, para fines de proyecto y verificación. El criterio de muestreo se establecerá de acuerdo con el objetivo que se persigue en el estudio respectivo y, en términos generales, se llevará a cabo como se indica en los siguientes subpárrafos.
- B.b) Para conocer en un momento dado la calidad del material que se está procesando, se tomará la muestra en la descarga de la banda transportadora o en el elevador de cangilones interceptando toda la corriente del material a intervalos regulares. Estas fracciones de muestra serán de 10 Kg, aproximadamente, se tomarán cada 15 minutos y se combinarán para formar una muestra de 50 Kg, que representará la producción durante el lapso en que se efectuó el muestreo; o bien, se podrán ensayar por separado.

- B.c) Cuando el muestreo se haga en la descarga de la tolva, se tomará en el vehículo de transporte una muestra de  $1\text{m}^3$ , aproximadamente, por cada  $400\text{m}^3$  o fracción del material producido, se descargará en un lugar adecuado y se obtendrá por cuarteos sucesivos una muestra de  $50\text{Kg}$  aproximadamente. Cuando se requiera mayor información, se podrá tomar una muestra por cada  $100\text{m}^3$  o fracción.
- C) En el caso de almacenamiento, se tomará en cuenta lo siguiente:
- C.a) Para el muestreo en almacenamiento, se tendrán las precauciones debidas, ya que son materiales acomodados en forma que fácilmente se derrumban, lo que dificulta y hace imprecisa la obtención de las muestras; esta operación generalmente se realizará en los taludes y cuando se tengan superficies adecuadas se efectuará mediante sondeos. En los taludes, el muestreo se hará tomando material con una pala de mano, a diferentes alturas, de manera de abarcar toda la altura del talud; las zonas de muestreo se espaciarán  $10\text{m}$ , aproximadamente, de acuerdo con el volumen y dimensiones del almacenamiento; el material obtenido de cada zona se mezclará y cuarteará sin contaminarlo para obtener muestras individuales con peso no menor de  $50\text{kg}$ . En la parte superior del depósito, las muestras se obtendrán del material extraído de excavaciones o sondeos hechos a la mayor profundidad posible y con un espaciamiento que dependerá del área superior del almacenamiento; si la cantidad de material obtenida de cada sondeo es mayor de  $50\text{Kg}$ , aproximadamente, se procederá a reducirla a este peso mediante cuarteos sucesivos.
- D) Para el muestreo de materiales en el lugar de utilización, se tendrá en cuenta lo siguiente:
- D.a) Se presentan tres casos: Cuando el material se encuentra formando montones, cuando está acamellonada y cuando está tendido o compactado.
- D.b) Para el material que se encuentre formando montones y cuando está acamellonado se tomara una muestra por cada  $500\text{m}^3$ , debiendo tenerse en cuenta el muestreo de almacenamiento, pero la distancia a que deberá tomarse cada muestra no será mayor  $250\text{m}$ . En el caso de material tendido o compactado, se tomarán las muestras a distancia no mayores de  $500\text{m}$ , haciéndose por lo

menos dos sondeos en cada sección transversal al eje de carretera con distancia entre sí de 3 a 5 m; dichos sondeos deberán tener una profundidad igual al espesor de la capa del material que se va a muestrear y un área de dimensiones adecuadas a la cantidad de muestra que se requiera. En el caso de estudio de reconstrucción, el espaciamiento de las muestras dependerá de las condiciones y características generales de la obra de que se trate.

#### **II.4 Tratamiento de los materiales**

En general es muy difícil encontrar un material, en estado natural, que reúna las características físicas aceptables por lo tanto no tienen los requisitos necesarios para poder ser empleado en las distintas capas de la sección transversal de una obra, por lo anterior se precisa realizar uno o varios tratamientos para mejorar sus características.

Los factores que influye para la determinación de los tratamientos que se deben aplicar a los materiales empleados en la pavimentación, son el económico y el de programa de obra.

Desde el punto de vista económico se presentan casos en los cuales se tiene que escoger un material entre varios, por el tipo de tratamiento ha aplicar y cuando se presenta la necesidad de eliminar bancos por deficiencia de calidad o de volumen y sustituir por otros más lejanos que no presenten este problema.

Por otra parte, en los trabajos de construcción el programa de obras es determinante en los aspectos de ejecución, ya que en base a él se tiene en cuenta los volúmenes de obra por ejecutar, las necesidades de los equipos de extracción, acarreo y compactación, así como el tratamiento de materiales no perdiendo de vista el aspecto de tiempo de ejecución.

Los tratamientos a que se deben someter los materiales procedentes de bancos para los diferentes usos en los trabajos de pavimentación, pueden ser procedimientos tan sencillos como la eliminación de los desperdicios a mano, hasta tratamiento de trituración total y separaciones en diferentes tamaños para su dosificación en planta, existiendo también otro tipo de tratamientos como disgregados, cribado, trituración parcial y lavado de materiales.

Los tratamientos antes citados son los más comunes y se describen a continuación.

### **II.4.1 Eliminación a mano del desperdicio**

Para revestimiento provisionales y sub-base, existen materiales de bancos, que cumplen con los requisitos para su utilización, en forma natural, presentando sólo desperdicios mayores de 7.62 cm (3") o de 5.08 cm (2") en un porcentaje del orden de 5% a 10%, lo que permite su eliminación a un costo bastante económico mediante el empleo de gente. El procedimiento utilizado en este tratamiento consiste en las operaciones de despirme o limpiezas de banco, extracción del material, acamellonamiento del mismo para así facilitar la pepena de los fragmentos de tamaño mayor que el especificado. La pepena se ejecuta durante el mezclado previo al tendido del material.

### **II.4.2 Disgregado**

Se utiliza en materiales finos agrumados, granulares cementados o en rocas alteradas; los cuales se utilizan en las etapas de revestimiento provisional o sub-base.

Consiste en la separación de partículas del material por algún medio mecánico; por ejemplo rodillo liso metálico que pasa sobre el material hasta lograr una molienda, donde la cantidad de partículas con tamaño mayor al necesario sea menor del 10%, y en forma manual, se retiran algunas partículas para así obtener un desperdicio menor al 5%.

Este procedimiento frecuentemente se aplica en reconstrucciones de carreteras donde el pavimento en operación se encuentra constituido por una base hidráulica y una carpeta de mezcla asfáltica.

Cuando el costo del material es alto por el número de pasadas necesarias del equipo o el desperdicio final del tratamiento sea mayor al 10% se recurre a otro tratamiento.

### **II.4.3 Cribado**

Es para materiales granulares (como la grava-arena de playones, arroyos y ríos o minas) y con desperdicio mayor al 10%. Para materiales de uso exclusivo de pavimentos, se aplica el tratamiento para aquellos materiales poco o nada cohesivos cuyo desperdicio, puede fluctuar de un 5% a 25 % de fragmentos con tamaño mayor que el especificado y en general es aplicable a materiales destinados para revestimiento provisional, sub-bases, bases de tipo hidráulico y en casos muy especiales en la obtención de pétreos para carpetas de uno o dos riegos y en mezclas asfálticas en el lugar.

Se utilizan mallas o tamices, con una abertura un poco mayor al tamaño máximo permisible. Esto se hace con una planta con tamices de diferentes tamaños para control de granulometrias y una serie de bandas para el transporte de los materiales a las mallas o a los patios de almacenamientos.

#### **II.4.4 Trituración**

Cuando el desperdicio del cribado es mayor al 25%, lo más conveniente es la trituración, o sea, quebrar las partículas que sean mayores al tamaño máximo requerido, este tratamiento puede ser parcial o total. El triturado parcial se ejecuta cuando el desperdicio es del orden del 25% y consiste en cribar inicialmente el material y solo triturar el desperdicio; cuando este es mayor al 50% se realiza el triturado total, o sea, que todo el material se pasa a través de la máquina sin que se cribe previamente.

Una planta de trituración consta, en lo fundamental de trituradoras, cribas y bandas. Las trituradoras pueden ser de acuerdo a los tamaños que admiten: primarias, secundarias o terciarias.

Las trituradoras primarias admiten fragmentos de roca hasta de 75 cm y producen fragmentos con tamaño máximo de 15 cm, estas trituradoras por lo general son de quijadas, y cuentan con dos placas de acero: una móvil y la otra fija, que cuando se separan admiten el material y cuando se juntan lo fracturan.

Las trituradoras de tipo secundario trabajan con material hasta de 25 cm en la admisión, reduciéndolo a tamaño máximo de 5 cm. De este tipo hay trituradoras de quijada, de rodillo y de cono o campana.

Para producir grava chica, arenas y polvos se usan trituradoras de tipo terciario que admiten partículas menores a 5 cm. Entre estas se tienen las trituradoras de cono, de rodillos, de bolsas o barras, de martillos o de molinos. Por medio de las trituradoras, cribas y bandas con que cuenta una planta, se puede producir la granulometrias que sean necesarias.

### **II.4.5 Lavado de materiales**

Este tratamiento forma parte en algunas ocasiones de la operación de trituración y cribado de materiales para pavimentación, principalmente en la producción de pétreos utilizados en carpetas asfálticas y concreto hidráulicos. La operación de lavado se aplica en aquellos materiales que por sus características naturales presentan problemas de contaminación con arcilla, materia orgánica y/o polvo, originando que no se puedan emplear como se encuentran, por lo tanto, en el tratamiento ya sea de cribado o de trituración se requiere adaptar equipos de lavado.

### **II.4.6 Estabilización de materiales**

Se llama estabilización de suelos a la mezcla de dos o más materiales, para que ésta presente las características deseadas. Se pueden distinguir dos tipos de estabilizaciones: la de tipo mecánico y la de tipo químico.

Dentro de las estabilizaciones de tipo mecánico están; para mejorar granulometría, para reducir la plasticidad y/o para aumentar el valor cementante.

Se dice que se estabiliza químicamente un suelo, cuando en la mezcla de los materiales intervienen el agua y se presentan reacciones de esta índole. Hay diferentes materiales para realizar este tratamiento, que en general es de tipo industrial, siendo los principales el cemento Portland y la cal hidratada.



### III PRINCIPALES PRUEBAS DE LABORATORIO

Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas que son mediciones de diferentes clases, que se hacen a especímenes elaborados siguiendo procedimientos estandarizados.

Las pruebas que se realizan a los materiales de construcción pueden dividirse en: pruebas de clasificación, de control y de proyecto. Las pruebas de clasificación son aquellas que permiten identificar a los materiales y decidir si pueden utilizarse o no en algunas de las capas estructurales.

Las pruebas de control son las que permiten verificar si la obra cumple con los requisitos de proyecto. Por último, las pruebas de proyecto son las que permiten realizar la estructuración racional de la sección transversal de una vía terrestre.

En México, estas pruebas se indican con todo detalle en las normas de algunas dependencias como son las de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las de la antigua Secretaría de Comunicaciones y obras Públicas o las de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

#### III.1 Pruebas de clasificación

##### III.1.1 Pruebas de clasificación para materiales pétreos

###### - GRANULOMETRÍA

La prueba de granulometría de un material sirve para determinar el porcentaje en peso, de las partículas de diferentes tamaños que lo forman, para realizar esta prueba, se hace uso de tamices o mallas por las que se hace pasar el material, se pesan las partículas que se retienen en cada una de ellas y se encuentra el porcentaje respectivo con relación al peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por las diferentes mallas, figura 3.

La denominación de las mallas se hace de dos maneras; la primera de ellas indica la separación interior que hay entre los alambres y se usa para las mallas de 7.62 cm (3") a 6.4 cm (1/4 "); la segunda forma de denominar las mallas es asignándoles un número, que indica la cantidad de alambres o hilos que se tienen en una pulgada y se usa para las mallas de la No. 4 a la No.200 que son las más utilizadas en suelos.

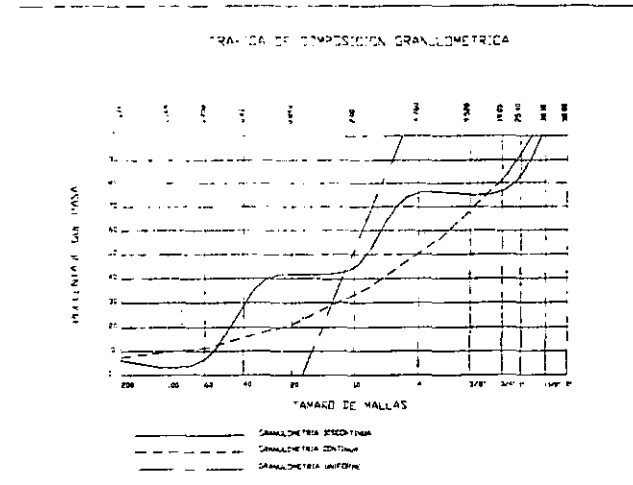


Figura. 3 Gráfica de composición granulométrica

- *DENSIDAD (PESO ESPECÍFICO RELATIVO)*

Se define como peso específico de un material ( $\gamma_m$ ) a la relación entre el peso del mismo y su volumen.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Se llama peso específico relativo ó densidad de un material  $S_m$  a la relación entre su peso específico en las condiciones de temperatura y presión barométrica del lugar y el peso específico del agua destilada  $\gamma_w$  en las mismas condiciones de temperatura y presión barométrica. En la práctica en lugar de  $\gamma_w$  se emplea  $\gamma_o$ , por ser aproximadamente iguales. El símbolo  $\gamma_o$  representa el peso específico del agua destilada a 4°C y una presión barométrica de 760 mm de Hg que da por resultado una  $\gamma_o=1\text{g/cm}^3$ .

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_o}$$

- *ABSORCIÓN*

Se define como absorción de un material pétreo la cantidad de agua que penetra en sus partículas cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de (15 a 25°C) durante (24 hr) y se expresa en por ciento con relación al peso seco del material.

- *PLASTICIDAD*

La plasticidad de un material se puede definir como la facilidad que presenta a remodelarse sin cambio de volumen y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Por tanto, la plasticidad de un material pueden intervenir sus características de humedad, peso volumétrico, sensibilidad de sus partículas, principalmente las finas, con respecto al agua y al porcentaje de éstas dentro del total.

Para conocer la sensibilidad de los finos a cambiar sus características de consistencia en presencia del agua, se realizan pruebas de plasticidad, entre las que se encuentran los límites de Atterberg y la de contracción lineal; estas pruebas se realizan sobre la porción de los materiales que pasan la malla No. 40.

- *LIMITES DE ATTERBERG*

Los límites de Atterberg corresponden a la humedad, o sea, al porcentaje de agua con respecto al peso de los sólidos, en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra; así el límite líquido (LL) es la humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y el plástico, en esta condición el material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 g/cm<sup>2</sup>.

El límite plástico (LP) es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido; a la diferencia entre el límite líquido y plástico se le denomina índice plástico ( $IP = LL - LP$ ).

Para situar el material en el límite líquido, se utiliza la copa de Casagrande en la cual, la porción del material que pasa la malla No. 40 con ese contenido de humedad debe cerrar íntimamente, a la largo de 1.25 cm, una abertura realizada con una pequeña herramienta especial denominado ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del aparato.

Para que el material llegue al límite plástico, se elaboran rollitos de material, inicialmente en el límite líquido que se rolan por medio de un vidrio pequeño, levantando 3 mm por medio de alambre, sobre otro vidrio base de mayores dimensiones; se dice que el material está en el límite plástico cuando los rollitos empiezan a agrietarse.

- *PRUEBA DE CONTRACCION LINEAL*

La prueba de contracción lineal, es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasa la malla No.40. En este caso, no se obtiene una humedad sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones de 2 X 2 X 10 cm y se introduce en un horno hasta lograr un peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo a sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con

respecto a la longitud inicial, es la contracción lineal que se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contracción lineal} = 100 \times (\text{Long. Inicial} - \text{Long. Final}) / \text{Long. Inicial}.$$

Esta prueba tiene ventajas, si se compara con los límites de Atterberg como son:

- a) Se necesita un solo parámetro.
- b) La variabilidad es menor que la del límite plástico y por tanto, que la del índice plástico.
- c) Constituye una medida más exacta de la plasticidad y puede pensarse que es un vernier para los límites de consistencia.

Esta prueba ya no se hace por reglamento de la subsecretaría de infraestructura que se modificó en 1998. Pero se utiliza la contracción lineal en materiales de buena calidad, y así rechazar o aceptar con mayor precisión.

#### - FORMA DE LA PARTICULA

Las pruebas de la forma de la partícula se llevan a cabo a fin de conocer el porcentaje de partículas en forma de aguja (asciculares), o de laja que se tienen en el material, pues éstas al recibir las cargas tienden a romperse con facilidad y hacen que los materiales tengan menos resistencia.

Las pruebas para determinar la relación entre las dimensiones de las partículas, presentes en el material pétreo, con el objeto de clasificarlas en cuanto a su forma alargada o forma de laja, y conocer los porcentajes respectivos que de estas partículas contienen los materiales pétreos utilizados en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas y riegos de sello.

- a) La determinación de las partículas con forma de laja son las que tienen una relación entre su espesor y su ancho, menor de 0.6, se llevará a cabo en la fracción retenida en la malla de 2 ½".

- Se toman de una en una las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición de la partícula más adecuada para esta operación.
- Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras del calibrador, se les determina su peso y se anota éste como  $W_p$ , en gramos.
- Se calcula y reporta el contenido de partículas con forma de laja del material pétreo, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_p = (W_p / W_i) \times 100 \text{ _____ (a)}$$

En donde:

$C_p$  = Contenido de partículas en forma de laja, en por ciento.

$W_p$  = Es el peso de las partículas que pasan por las ranuras correspondientes del calibrador, en gramos.

$W_i$  = Es el peso total del material retenido en la malla de 2 ½" en gramos.

- b) La determinación de las partículas con forma alargada, son las que tienen una relación entre su largo y su ancho mayor de 1.8 se llevará a cabo en la fracción retenida en la malla de 2 ½".
- Se toman de una de las partículas que forman cada porción clasificada de la muestra y se verifica si pasan por el claro correspondiente del calibrador de longitudes, de manera que al tratar de pasarlas, tengan una porción tal que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal del calibrador.
  - Se reúnen todas las partículas que no pasaron por los respectivos claros del calibrador, se les determina su peso y se anota éste como  $W_a$ , en gramos.
  - Se calcula y reporta el contenido de o partículas alargadas que tiene el material pétreo, aplicando al siguiente fórmula:

$$C_a = (W_a / W_i) \times 100 \text{ _____ (b)}$$

En donde:

$C_a$  = Contenido de partículas alargadas, en por ciento.

$W_a$  = Es el peso de las partículas que pasan por los claros del calibrador, en gramos.

$W_i$  = Es el peso total del material retenido en la malla No.6.3 en gramos.

#### - DESGASTE

Las pruebas de desgaste tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo y es una medida indirecta del grado de alteración alcanzado por éste, así como de la presencia de planos de debilitamiento o cristalización que provocan una desintegración de la partícula de material. Igualmente da una idea de la presencia de partículas con forma de laja, cuyas aristas vivas sufren una fuerte abrasión durante la prueba.

Cuando la muestra está constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de la calidad de algunos de los materiales, deberán efectuarse pruebas por separado del material sano y del material alterado o de diferente origen, así como una prueba en la muestra constituida por ambos materiales.

Se hablara más ampliamente de la prueba de desgaste en el subtítulo con dicho nombre.

#### - RESISTENCIA Y EXPANSIÓN

Para medir los parámetros de resistencia y expansión, se pueden utilizar diferentes pruebas, la más usual es la prueba Porter del Estado de California de EUA elaborada en 1925. Esta prueba es conocida como Porter Estándar y su nombre sirve para diferenciarla de otras pruebas que se han derivado de ella y se denominan como Porter Modificadas.

Con la Prueba de Porter Estándar se obtienen cuatro parámetros o características de los materiales que son: peso volumétrico seco máximo (PVSM), humedad óptima ( $\omega_o$ ), expansión (E) y valor relativo de soporte (VRS). Es conveniente que al manejar estos datos se aclare que precisamente se obtuvieron de la prueba Porter Estándar pues solo sirve como dato complementario de la calidad de los suelos y los que se obtienen a través del Método del Cuerpo de Ingenieros y pruebas en el lugar, se emplean para el diseño de espesores de pavimento.

- PRUEBA PORTER ESTÁNDAR.

Para realizar esta prueba, en un molde metálico de 15 cm de diámetro se colocan 4 kg de material húmedo y se les da una presión estática (con una placa que cubre toda la sección del molde), de  $140.6 \text{ kg/cm}^2$ ; si al terminar de dar la presión la base metálica se humedece ligeramente, se dice que el peso volumétrico seco obtenido es el máximo (PVSM), y la humedad correspondiente es la óptima ( $\omega_{opt}$ ) de esta prueba; para su cálculo se hacen las mediciones necesarias. Si no se humedece la base, se repetirá la prueba con mayor humedad; pero si la expulsión es grande, la cantidad de agua que se use será menor.

- EXPANSIÓN

El espécimen, en la condición de PVSM y  $\omega_o$  confinado en el molde, se introduce en un tanque de saturación y se le coloca un extensómetro en el que se hace una lectura inicial ( $L_i$ ); por efecto del agua, mientras más plástico es el material, éste aumenta de volumen es decir, se expande; se conserva así hasta que la expansión sea imperceptible, con un mínimo de 72 horas Cuando las lecturas del extensómetro de un día para otro sean casi iguales, se hace en él la lectura final ( $L_f$ ), y se calcula el porcentaje de expansión de la siguiente manera:

$$\% \text{ Expansión (E)} = 100 \times (L_i - L_f) / \text{Espesor del espécimen sin saturar.}$$

- VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS) ESTANDAR.

Se define como el Valor Relativo de Soporte (VRS), al cociente de la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en el material a probar entre la presión necesaria para penetrar los mismos 0.25 cm. en el material patrón, piedra triturada, en las que se producen las presiones en el vástago que se anota en la Tabla 1:



Penetración		Presión en el vastago.	
cm	Plg.	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/plg <sup>2</sup>
0.25	0.1	70	1000
0.50	0.2	105	1500
0.75	0.3	133	1900
1.00	0.4	161	2300
1.25	0.5	132	2600

Tabla 1. Valor Relativo de Soporte VRS.

El objetivo de la prueba es determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere; si utiliza para ver si un material cumple con las condiciones necesarias en las bases de un pavimento. En general se aplica al VRS estándar a materiales gruesos.

Para obtener el VRS estándar se sujetó el material a la prueba PORTER, se le compactó al 100% de su peso volumétrico seco máximo y se saturó; pero estas condiciones de compactación al 100% y de saturación completa no son las condiciones representativas del campo, ya que el material por lo general no estará saturado en el campo, tanto en compactación será la especificada en el proyecto, no necesariamente al 100%.

Lo anterior obliga a que el diseño del espesor de las capas del pavimento se basa en el VRS modificado, que representa más cercanamente las condiciones de campo, tanto en compactación como en humedad.

La prueba consiste en:

- a) Se compacta el material según la prueba Porter Estándar, (ya que se trata de un material grueso).
- b) Una vez compactado el material, en su condición óptima, se deja saturar durante 4 días.

- c) Posteriormente se le coloca encima una placa que le transmitirá una presión equivalente a la que tendrá cuando forme parte del pavimento.

La placa tiene una perforación por la que pasa un vástago de  $19.4 \text{ cm}^2$  de área transversal, 2.48 cm de radio.

- d) Se hace penetrar el vástago a través de la placa a razón de 0.127 cm/min, midiendo la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm y se compara con el material patrón que ya se conoce.

### III.1.2 Pruebas de clasificación para materiales asfálticos

#### - VISCOSIDAD

El objetivo de la prueba de viscosidad es el de determinar el grado de fluidez de un asfalto líquido a determinada temperatura, se trata de conocer la dificultad de un producto asfáltico, a pasar por un orificio de características especificadas. La prueba se ejecuta mediante un aparato denominado viscosímetro.

Se calienta el aceite del viscosímetro a una temperatura de  $0.5^\circ\text{C}$  mayor que la temperatura de prueba. Se colocarán en un vaso 150 gr aproximadamente del producto asfálticos y se calentara en una parrilla hasta una temperatura de  $1^\circ\text{C}$  mayor que la de prueba, agitando durante el calentamiento hasta que la temperatura sea uniforme.

Se vacía el producto en el tubo de viscosímetro hasta un nivel de derrame, se tapa y se mantiene durante 15 minutos hasta alcanzar la temperatura de prueba. Se abre el opturador y se empieza a contar el tiempo en segundos que tarda el producto en llenar el matraz de  $60\text{cm}^3$  pasando a través del tubo Furol. Este tiempo expresará la viscosidad del producto a la temperatura de prueba denominado grado de viscosidad y la prueba se realiza a emulsiones, rebajados y cementados asfálticos.

Cuando se ejecuta ésta prueba de viscosidad es muy frecuente se cometan los errores siguientes:

- Que no se mantenga la temperatura adecuada durante la prueba.
- Que no se tome en forma adecuada el tiempo que tarda el asfalto en llenar el matraz de 60cm<sup>3</sup>
- Que el orificio de descarga no este limpio perfectamente.

- PENETRACIÓN

La penetración es una medida de la consistencia de materiales asfálticos sólidos o semisólidos y expresa como la profundidad en décimos de milímetro denominados grados de penetración. Se realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se realiza por medio del penetrómetro, que consta de un vástago lastrado que pesa 200 g y en el extremo inferior tiene una aguja.

Si el asfalto que se va a ensayar es un cemento asfáltico, este se calienta hasta que pueda ser vaciado en la cápsula. Se deja enfriar el espécimen (cápsula con asfalto) hasta que adquiera la temperatura ambiente y luego se coloca en baño maría a una temperatura de 25° C manteniéndola así el tiempo necesario para que el producto asfáltico adquiera dicha temperatura.

Se coloca el espécimen bajo el aparato de penetración, se pone la aguja estándar bajo condiciones específicas de peso de 100 gr en contacto con la superficie del asfalto y se ajusta la carátula a cero. Se deja caer libremente la aguja durante 5 segundos al cabo de los cuales se medirá en la carátula la distancia penetrada. Se hacen unas cuatro penetraciones, teniendo cuidado de limpiar bien la aguja después de cada ensayo y se toma el promedio de dichas penetraciones como el valor correcto.

- PUNTO DE ENCENDIDO

Esta prueba se efectúa a cementos y rebajados asfálticos, es muy importante, pues a partir de los resultados se puede deducir el tipo de solventes que contiene el producto en estudio.

El punto de inflamación y de ignición es un método que determina las temperaturas de inflamación y de ignición de los materiales asfálticos. El punto de inflamación indica la temperatura máxima a la que el material asfáltico puede ser

calentado sin peligro de una inflamación instantánea en presencia de una flama directa.

Esta temperatura generalmente es inferior a la necesaria para que el material entre en combustión la cual corresponde al punto de ignición.

Al calentarse la muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, registrar como punto de inflamación la temperatura leída en el termómetro cuando al pasar la flama se produzca un chispazo en cualquier punto de la superficie del espécimen, cuidando de no confundir el verdadero chispazo con un halo azulado que suele aparecer en la flama de prueba.

Para determinar el punto de ignición, se continua calentando el espécimen de modo que su temperatura aumenta a razón de 5 °C a 6 °C por minuto. Continuar la aplicación de la flama de prueba a intervalos de 2 °C hasta que se produzca la combustión y se prolongue ésta durante un tiempo no menor de 5 seg. se anota la temperatura alcanzada en ese momento como punto de ignición.

#### - PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Este método es arbitrario para la determinación de la temperatura a la cual fluye un asfalto hasta un cierto grado. A medida que se calienta el asfalto, gradualmente se hace más blando hasta llegar a una temperatura a la cual fluye fácilmente, no habiendo una temperatura crítica durante el calentamiento a la cual cambie repentinamente de sólido a líquido. La prueba se lleva de la forma siguiente:

Sobre una placa de bronce, que haya sido previamente amalgamada, se coloca un anillo de latón de 15.88 mm de diámetro interior y 6.35 mm de altura, en posición invertida y se llenará con asfalto, el cual haya sido previamente calentado y se dejará enfriar durante una hora, después de haber pasado una hora, se quita el exceso de asfalto con una espátula caliente. Se pueden presentar los dos casos siguientes: (1) si se trata de asfaltos cuyo punto de fusión es de 80 °C, se vaciará en el vaso hasta una lectura de 8.25 cm, agua destilada a 5 °C se colocara el anillo dentro del agua hasta tener exactamente 2.54 cm desde el fondo del vaso hasta la cara inferior del anillo. Se introduce la esfera de 3/8" en el agua dejando descansar en el fondo del vaso y se suspenderá el termómetro de manera que el bulbo quede a la misma altura que la cara inferior del anillo y a una separación de 6.35 mm. Se mantendrá la temperatura del agua a 5 °C durante 15 min y con unas pinzas adecuadas se coge la esfera y se coloca cuidadosamente en el

centro de la cara superior de la muestra, ya colocada la esfera se eleva la temperatura del agua a una relación de 5 °C por minuto. La temperatura que marque el termómetro en el instante en que el asfalto toque el fondo del vaso se reporta como punto de fusión o de reblandecimiento del asfalto. (2) si se trata de asfaltos con punto de fusión mayor de 80 °C se sigue el mismo procedimiento anterior sólo que se usará glicerina químicamente pura en lugar de agua y la temperatura inicial será 32 °C. La flama se colocará a la mitad más distante del anillo.

### **III.2 Pruebas de control y proyecto**

#### **III.2.1 Pruebas de control**

Son las que permiten verificar la calidad del trabajo en las obras y el tipo de prueba las que se utilizan para la clasificación también se usa para el control; es decir, en base a las pruebas de clasificación se realizan los proyectos y se formulan los procedimientos de construcción y para asegurar que se cumple con las condiciones marcadas, se vuelven a utilizar las mismas pruebas; sin embargo, se tienen pruebas específicas de control que son las que se utilizan para saber el grado de compactación que se alcance en las diferentes capas de estructura de una obra vial; para ello se debe conocer el peso volumétrico de campo y los pesos volumétricos de laboratorio.

La compactación es el proceso mecánico, por medio del cual se reduce el volumen de los materiales, en un tiempo relativamente corto, con el fin de que sean resistentes a las cargas y tengan una relación esfuerzo-deformación conveniente durante la vida útil de la obra.

Una vez que en el campo se termina la compactación de alguna capa de la sección estructural, ya sea del cuerpo del terraplén de la capa subrasante o de las capas de pavimento, es necesario que se verifique si se alcanzó el peso volumétrico marcado en el proyecto. La compactación alcanzada se mide por medio del Grado de Compactación ( $G_c$ ) que se define como la relación en porcentaje del peso volumétrico seco que se tiene en la obra y el peso volumétrico máximo que se obtiene en el laboratorio, efectuando la prueba que corresponda, como se indicará más adelante; la expresión para calcular el grado de compactación es:

$$G_c (\%) = \frac{\gamma_{d\text{campo}}}{\gamma_{d\text{max}}} \times 100$$

Por lo tanto es necesario efectuar pruebas de campo y de laboratorio. En las obras, los materiales deben compactarse hasta un grado tal, que los esfuerzos debidos al tránsito que lleguen hasta la profundidad en que se localiza la capa en estudio, no provoquen deformaciones graves. A través de la experiencia, se ha aceptado que la compactación mínima del cuerpo de terraplén sea de 90% mínimo y de 95 % para subrasantes, sub-base y base de pavimento.

### III.2.1.1 Pruebas de compactación en el campo

Con las pruebas de campo se encuentra el peso volumétrico seco alcanzado en la obra, para lo cual se hace un sondeo a cielo abierto con una profundidad igual al espesor de la capa de estudio y con un diámetro igual al espesor de la capa en estudio y con un ancho de diámetro igual a 3 o 4 veces del tamaño máximo del agregado 15 cm máximo.

El material que se extrae del sondeo se coloca en una charola para conocer el peso húmedo y se toma una pequeña muestra para conocer su humedad, con lo cual se calcula el peso seco del material:

$$W_s = W_m / (1 + \omega)$$

$$\text{Peso seco} = (100 \times \text{Peso húmedo}) / ((100 + \text{humedad} (\%))) = P_s$$

El volumen del sondeo ( $V_m$ ), se encuentre vaciando en el sondeo arena con granulometría uniforme (entre tamaños 0.85 mm a 0.60 mm), lo cual se puede llevar a cabo por medio de una probeta, embudo y trompa o por medio de frasco y cono. Hay otros métodos como los que utilizan agua o aceite para medir el volumen, pero como requieren de una membrana plástica para evitar que el fluido se infiltre en el suelo, en general se puede decir que son más imprecisos que los que no la utilizan, ya que a medida que la membrana es menos flexible menos se pliega a las irregularidades del sondeo. El peso volumétrico se calcula con la fórmula.

$$\text{Peso volumétrico seco} = \gamma_d = PVS = W_s / V_m$$

### **III.2.1.2 Pruebas de compactación del laboratorio**

#### **III.2.1.2.1 Compactación estática y dinámica**

Para encontrar el grado de compactación se requiere el patrón de laboratorio con el que se debe comparar el peso volumétrico seco encontrado en el campo. Las pruebas de compactación de laboratorio son principalmente de dos tipos: estática y dinámica. Las pruebas de compactación estática son aquellas en que se compacta el espécimen con una presión que se proporciona al material por medio de una placa que cubre la superficie libre del molde (Porter Estándar).

Las pruebas de tipo dinámico son aquellas en las que el espécimen se elabora compactando el material por medio de pisonés, que tienen un área de contacto menor a la sección libre del molde que se usa (Proctor).

Para la construcción de caminos en el país, desde 1950 se cambió el número de golpes por capa de 25 a 30 golpes, dado que los pesos volumétricos máximos obtenidos con Proctor Estándar (25 golpes), eran menores a los que se obtenían en los laboratorios de verificación.

En la práctica nacional se ha acostumbrado encontrar el peso volumétrico seco máximo (PVSM) con la Proctor 30 golpes para materiales que retengan hasta el 10% en malla No. 4 y la prueba Porter para los que tienen más de 10% de retenido en dicha malla; sin embargo, se tienen problemas con materiales que se encuentran cercanos a ese límite, pues los materiales no son totalmente homogéneos; se pueden tener materiales en el campo con 9% de retenido en malla No. 4 y la compactación se mide con la proctor 30 golpes; pero si el retenido cambia a 11% o 12%, se exige al contratista mayor energía de compactación, pues el patrón cambia a la Porter estándar (lo mismo pasaría si se utilizan las pruebas AASHTO modificadas).

AASHTO ESTANDAR T 99-61 (ASTM D 698-64 T)		AASHTO MODIFICADA T 180-61 (ASTM D 1557-64 T)	
Pisón de 2495 gr Altura de caída 30.48 cm (12") Diámetro 5.08 cm. Energía de compactación 6 14 kg cm/cm <sup>3</sup>		Pisón de 4536 gr Altura de caída 45.72 cm (18") Diámetro 5.08 cm. Energía de compactación 16.75 y 25.12kg-cm/cm <sup>3</sup> Compactar en 3 ó 5 capas iguales para AASHTO MODIFICADA	
A	Molde PROCTOR	Con diámetro de 10.16 y 11.64 cm. Pasa malla #4	
(a) Sacar hasta 60°C y disgregar (b) Cribar por #4 y eliminar retenido (c) Se emplean 3 a 3.5 Kg. de material (d) Agregar agua necesaria para inicio (e) Compactar en 3 capas iguales con 25 golpes (f) Enrasar y pesar molde con espécimen. (g) Tomar humedad secando a 110 - 5°C por 12 horas (h) Disgregar material hasta pasar malla #4 (i) Repetir proceso con 2% más de agua			
B	Molde ESPECIAL	Con diámetro de 15.24 y 11.64 cm. Pasa malla #4	
(a) Sacar hasta 60°C y disgregar (b) Cribar por #4 y eliminar retenido. (c) Se emplean 7 Kg. De material (d) Agregar agua necesaria para inicio (e) Compactar en 3 capas iguales con 56 golpes (f) Enrasar y pesar molde con espécimen. (g) Tomar humedad secando a 110 - 5°C por 12 horas. (h) Disgrega: material hasta pasar malla #4 (i) Repetir proceso con 2% más de agua			
C	Molde PROCTOR	Con diámetro de 10.16 y 11.64 cm. Pasa malla #4	
(a) Sacar hasta 60°C y disgregar (b) Cribar por #4 y eliminar retenido (c) Sustituir retenido 1/2 por pasa 3/4 y retiene 4 (d) Se emplean 5 a 5.5 Kg. de material (e) Agregar agua necesaria para inicio (f) Compactar en 3 capas iguales con 25 golpes (g) Enrasar y pesar molde con espécimen. (h) Tomar humedad secando a 110 - 5°C por 12 horas (i) Disgregar material hasta pasar malla 3/4 (j) Repetir proceso con 2% más de agua			
D	Molde ESPECIAL	Con diámetro de 15.24 y 11.64 cm. Pasa malla 3/4	
(a) Sacar hasta 60°C y disgregar (b) Cribar por 3/4 y eliminar retenido. (c) Sustituir retenido 1/2 por pasa 3/4 y retiene 4 (d) Se emplean 11 Kg. De material. (e) Agregar agua necesaria para inicio (f) Compactar en 3 capas iguales con 56 golpes (g) Enrasar y pesar molde con espécimen. (h) Tomar humedad secando a 110 - 5°C por 12 horas (i) Disgregar material hasta pasar malla 3/4 (j) Repetir proceso con 2% más de agua			

Tabla 2. Compactación Estática y Dinámica.



### III.2.2 Pruebas de proyecto

#### III.2.2.1 Porter modificada

La prueba de Porter modificada (Patrón), consiste en obtener el valor relativo de soporte de un espécimen compactado estáticamente para obtener la compactación de peso volumétrico y humedad que el proyectista crea conveniente, de acuerdo con las condiciones críticas que se esperan en la obra, el espécimen no se satura.

Hay que considerar las siguientes recomendaciones de la Tabla 3.

Condiciones de zona	Grado de Compactación	Contenido de agua
Zonas con baja precipitación y buen drenaje (NAF>5m)	100%	$\omega_0$
Zonas con condiciones regulares de drenaje y precipitación (5m>NAF>1m)	95%	$\omega_0 + 1.5\%$
Zonas con alta precipitación y mal drenaje (NAF<1m)	90%	$\omega_0 + 3.0\%$

Tabla 3. Recomendaciones para elaborar especímenes

El grado de compactación ( $G_c$ ) es con respecto al PVSM obtenido en la prueba de laboratorio de acuerdo al tipo de material y a ( $\omega_0$ ) el contenido de agua óptimo correspondiente.

Para cada sondeo se necesitaría sólo un espécimen con las características que marque el proyectista; sin embargo, para un banco de materiales, que conviene al menos en la mitad de los sondeos se efectúen las tres combinaciones indicadas, a fin de comprobar que los ensayos estén bien realizados y para que el proyectista tenga una idea de cambio en las características del material al variar el peso volumétrico y la humedad.

Para realizar esta prueba se requiere con anticipación, conocer el PVSM y el  $\omega_0$  del material, así como su contenido de agua inicial. Una vez compactado el material, de inmediato se coloca en la prensa para efectuar la penetración del espécimen, con lo que se puede calcular el VRS.

Teniendo ya los datos iniciales, las pruebas para un sondeo (3 especímenes mínimo) se realizan en menos de una hora, lo que muestra su facilidad y versatilidad para conocer con acuciosidad la resistencia de los materiales que se utilizarán, muestreados en la obra o en los bancos de terracería (cuerpo de terraplén o capa subrasante).

### III.2.2.2 Pruebas de Hveem

Este método está en uso en el estado de California, EUA, y se basa en cuatro pruebas: exudación, expansión, estabilidad y cohesión, para mezclas se hace la estabilización y cohesión; para terracerías estabilidad, exudación y expansión. Los especímenes se elaboran compactándolos con el aparato llamado amasador (Kneading compactor), está acoplado a una compresora; comprime el material dejando caer primero un pisón, pero cuanto toca el material, se aumenta la presión hasta un cierto valor; esta acción se repite 100 veces; se preparan 3 o 4 especímenes con diferente humedad que darán lugar a diferentes pesos volumétricos secos, sin que se especifique cuáles son, ni que relación tienen con las condiciones reales de la obra. Una vez que los especímenes fueron elaborados en la forma antes descrita, se les proporciona una compactación estática con una carga con la que el material empiece a expulsar agua; a esta carga dividida entre la superficie en la que se aplica se le llama presión de exudación. Se deben tener 3 o 4 especímenes en los que la presión de exudación sea mayor a  $7 \text{ kg/cm}^2$  pero menor a  $55 \text{ kg/cm}^2$ . Se registra esta presión para cada uno de los especímenes.

Con los especímenes anteriores se realiza la prueba de expansión, utilizando el expansiómetro de Hveem se conocerá la presión de expansión que producen los especímenes en presencia de agua, confinados en el molde cilíndrico en el que en la parte superior se coloca agua.

La presión de expansión se obtiene al conocer la deflexión de una lamina calibrada que se tienen en un marco, sobre el cilindro que contiene la muestra. Con este dato se obtiene para cada humedad un espesor de pavimento ( $D_2$ ) tal, que su peso por unidad de superficie sea igual a la presión de expansión; es decir, este espesor ( $D_2$ ) será suficiente

para contrarrestar la presión de expansión de las capas inferiores al pavimento; este espesor se calcula con la fórmula:

$$D_2 = (\text{Presión de expansión} / \text{Peso volumétrico del material})$$

Enseguida se encuentra la estabilidad de los especímenes utilizando el aparato denominado estabilómetro que es de tipo triaxial; consiste de un cilindro metálico exterior con una ceja en los extremos y con una membrana de hule en la parte interior, entre las cuales se coloca aceite, cuya presión se mide por medio de un manómetro.

La prueba consiste en introducir el espécimen en el aparato y darle una carga vertical (Pv) de 160 lb y obtener la presión horizontal (Ph) que se desarrolla en la cámara de aceite, al deformarse el material lateralmente; también el número de vueltas (Dn) que se le da a un volante en forma manual para pasar la presión del aceite de 5 a 100 lb/plg<sup>2</sup> (siempre con el espécimen dentro del aparato); con los datos anteriores se calcula el valor de resistencia R, con la siguiente fórmula:

$$R = 100 - (100 / ((2.5/D_n) ((160/P_h) - 1) + 1))$$

Para el proyecto de espesores también se requiere el valor de la cohesión (c) que se obtiene por medio del cohesiómetro ; esta prueba se realiza a los materiales que estarán sobre la capa que se esta estudiando o se toman de los valores promedios obtenidos a través del tiempo.

### III.2.2.3 Pruebas cuerpo de ingenieros

Esta prueba cambia el procedimiento para la elaboración del espécimen, la compactación se hace dinámica, desarrollando una tecnología propia que consiste en obtener curvas de compactación de los materiales de terracería para tres energías diferentes utilizando un pistón de 4.5 Kg de peso, con caída libre de 46 cm en tres capas; la primera curva es para una energía correspondiente a 12 golpes por capa, la segunda para 28 golpes y la tercera para 56; para obtener estas curvas se requiere cuando menos cuatro especímenes para cada una o sea 12 especímenes por sondeo, los cuales se giran para que la porción más compacta quede hacia arriba y de esta manera se introduce

a un tanque de saturación y se obtienen los VRS de estos especímenes saturados, graficándolos con relación a la humedad y para cada energía de compactación.

### **III.3 Pruebas de desgaste**

Esta prueba sirve para darse una idea del comportamiento de los materiales, bajo la acción del tránsito, de los efectos abrasivos y de choque.

Se han desarrollado dos métodos principales. El tambor de Deval y la máquina de los Angeles.

#### **III.3.1 Tambor de Deval**

Esta máquina consiste en uno o más cilindros de hierro hueco, cerrados por uno de sus extremos y provistos de una tapa, que cierra herméticamente cada tambor. Estos están montados sobre un bastidor de manera que su eje forma un ángulo de 30° con el eje de rotación. Los cilindros tienen 20 cm de diámetro por 34 cm de altura en su interior. La prueba se realiza de dos maneras distintas, según se trate de piedra triturada o de grava.

Para piedra triturada, se comienza por preparar fragmentos de roca de forma lo más cúbica posible y un tamaño de 5 a 8 cm, en número aproximado de 50, que den un peso total de 5 kg +/- 10 gr.

La muestra se lava y se seca en un horno. Nuevamente se pesa y se anota éste valor como peso inicial (W<sub>i</sub>). Es importante que la temperatura de secado no sea excesiva, porque puede alterar los resultados de la prueba. Cuando la densidad aparente del material es menor de 2.2, deberán usarse 4 kg de muestra para la prueba, conservando el mismo número de piezas.

La muestra seca, se colocan dentro de la máquina Deval, haciéndola girar a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. (aproximadamente 5 horas) hasta completar 10,000

revoluciones. Al término de estas se saca el material, se separa el material fino por la malla No. 10, se lavan los fragmentos retenidos para quitar el polvo y se pesan después de secados, hasta peso constante el cual se anota como peso final ( $W_f$ ).

El porcentaje de desgaste se calcula en la siguiente forma:

$$\% \text{ de desgaste} = 100 \times (W_i - W_f) / W_i$$

Con las gravas se realiza el ensayo, cribando el material y separándolo en los tamaños que aparecen en el cuadro, para formar una de las 5 granulometrias, escogiendo la que más se asemeje a la de muestra por probar y que pese en total 5 Kg.

Tipo	Pasa malla	Retenido	Peso (kg.)	Tanto por ciento
<b>A</b>	2"	1 ½"	1.250	25
	1 ½"	1"	1.250	25
	1"	¾"	1.250	25
	¾"	½"	1.250	25
<b>B</b>	1 ½"	1"	2.5	50
	1"	¾"	1.250	25
	¾"	½"	1.250	25
<b>C</b>	1"	¾"	2.5	50
	¾"	½"	2.5	50
<b>D</b>	¾"	½"	2.5	50
	½"	No. 4	2.5	50
<b>E</b>	½"	3/8"	2.5	50
	3/8"	No. 4	2.5	50

Tabla 4.Desgaste con Tambor Deval.

La mezcla se lava y se seca en un horno, después se pesa anotando este valor como peso inicial ( $W_i$ ). Se coloca la muestra dentro de la máquina Deval, junto con 6 esferas de hierro vaciado de 1 7/8" de diámetro y de 425 gr de peso cada una. Se hace girar la máquina a las mismas revoluciones indicadas anteriormente, al termino de las revoluciones se saca, se criba por la malla No. 10, se lava la muestra y el retenido se

seca a temperatura constante hasta lograr un peso constante, anotando este valor como peso final ( $W_f$ ). El por ciento de desgaste está dado por la fórmula anteriormente dada.

Cuando se cuenta con una grava que tenga un 25 % de partículas menores de  $\frac{1}{2}$ " podrá determinarse el desgaste usando la mezcla A, B ó C, pero será necesario efectuar una segunda prueba empleando las mezclas D ó E, si se considera que son de distintas durezas las piezas mayores de  $\frac{1}{2}$ " que las menores de éste tamaño.

Las gravas que contengan más de 10% de partículas trituradas se considerarán como grava triturada. En tales casos, la prueba de desgaste deberá hacerse con el material, incluyendo las piedras trituradas, en la forma antes descrita. Deberá de terminarse el por ciento en peso, de las partículas trituradas y se calculará el desgaste por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de desgaste permitido} = \frac{A \times L + (100-A) \times L'}{100}$$

Siendo:

A = % de partículas sin triturar.

100 - A = % de partículas trituradas.

L = % de desgaste permisible para piedras o gravas sin partículas trituradas.

L' = % de desgaste permisible para piedra o grava triturada.

El cociente Deval. debe obtenerse con un material de clase uniforme, por ésta causa es expuesto a error su determinación en la grava redondeada; solamente unas cuantas piedras de material blando alterarán profundamente el resultado.

Para ajustarse más a las condiciones de comportamiento de los materiales en la carretera, se ha desarrollado el sistema de la máquina de los Angeles, descrita más adelante y por esta razón ha alcanzado mayor aplicación que la de Deval.

### III.3.2 Desgaste los Angeles

Esta prueba tiene por objeto determinar el desgaste de los materiales pétreos que se emplean en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas de riego, riegos de sello y otros usos, sirve para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc; la prueba consiste en someter a las muestras de material pétreo seco y con determinación granulometría a un proceso de abrasión que se efectúa en la máquina Los Angeles, en la que se introduce la muestra junto con esferas metálicas y mediante una rotación de dicha máquina se origina entre las esferas y el material cargas abrasivas y de impacto. Se detallara más esta prueba en el siguiente capítulo (IV. Equipo de Los Ángeles).

### III.3.3 Prueba de intemperismo acelerado

Esta prueba permite estimar la alteración que puede sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo, cuando se utiliza en la construcción de carpetas de riego de sello, y consiste en someter a los agregados pétreos a varios ciclos de saturación en solución de sulfato de sodio o de magnesio. y secado en horno, que producen degradación del material pétreo, lo cual se considera como una medida de la susceptibilidad del material a los efectos ambientales.

#### Equipo y Material

Mallas de 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1 ¼", 1", ¾", 5/8", ½", 3/8", 5/16", y No. 4, 8, 16, 30, 50, 100.

Horno con termostato que mantenga una temperatura  $105 \pm 5^\circ\text{C}$

Densímetro calibrado de 1.0 a 1.4

Charolas metálicas rectangulares,

Charolas metálicas redondas,

Recipientes de plástico con tapa, capacidad de 1 lt, aproximadamente.

Balanza de 5 kg de capacidad con 1.0 g de aproximación

Balanza 2 kg y 5 kg de capacidad con 0.1 g de aproximación

Siete canastillas de malla metálica de latón o de bronce, con aberturas equivalentes a la malla No.8, con capacidad de 2.5 lt aproximadamente.

Cinco canastillas de malla metálica de latón o de bronce, con aberturas equivalentes a la malla No.100, con capacidad de 0.10 lt aproximadamente.

Vasos de aluminio con capacidad de 1lt.

Recipientes de plástico y tapa, capacidad 20 lt, aproximadamente, con forma adecuada para introducir las canastillas.

Veinte litros de solución de sulfato de sodio que se prepara vaciando en un recipiente de plástico.

Diecinueve litros de agua limpia a 30°C, adicionando por cada litro de agua 350 lt de sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), o bien 750 lt de sulfato de sodio cristalino decahidratado ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), ambos de calidad industrial, con dichas cantidades, se asegura la saturación de la solución, lo cual se manifiesta por la presencia de cristales en la misma; para llevar a cabo la disolución, se agita vigorosamente el agua durante la adición de la sal. A continuación, se deja en reposo la solución hasta que adquiera la temperatura de  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ , manteniéndola en estas condiciones durante 48 hrs como mínimo antes de utilizarla.

Veinte litros de solución de sulfato de magnesio preparada en sustitución de la de sulfato de sodio y, en forma similar a ésta, utilizando por cada litro de agua 350 g de sulfato de magnesio anhidro ( $\text{MgSO}_4$ ), o bien, 1400 g de sulfato de magnesio eptahidratado o sal Epsom ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), ambos cuando menos de calidad industrial.

Solución de cloruro de bario acidulada, que debe prepararse disolviendo 10 g de cloruro de bario químicamente puro ( $\text{BaCl}_2$ ) en 40 ml de agua destilada, a la que se le agregan 20 ml de ácido clorhídrico químicamente puro; la solución antes referida, se mezcla con una varilla de vidrio y se le agrega la cantidad de agua suficiente para completar 100 ml de la solución. En caso de que se disuelva el cloruro de bario, se calentará ligeramente dicha solución. En caso de que no se disuelva el cloruro de bario, se calentará la solución para facilitar esta operación.

De una muestra de material pétreo se tomara un cuarteo de 20 kg y se divide en dos partes, (parte 1 y parte 2) aproximadamente iguales; se criba la parte 1 por la malla de 3/8", el material que pasa se le llama porción fina y se elimina el material retenido, a continuación, se criba la parte 2 por la malla del No. 4 y el material que retiene se llama



porción gruesa y se elimina el material que pasa en dicha malla, las dos porciones gruesa y fina se les da el tratamiento que se indica enseguida:

**Paso 1.** Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción fina, se determina su composición granulométrica, utilizando las mallas del No. 4, 8, 16, 30 y 50, se anotan los pesos de los retenidos parciales del material y lo que pasa en la malla No. 50, se obtienen sus porcentajes con respecto a su peso total. En seguida, se procesa el último retenido esta porción, como se indica:

- a) Se lava la porción fina (retenido de mallas No. 4, 8, 16, 30 y 50), por la malla No. 50 hasta que el agua salga clara, se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente. Se criba *c/u* de los retenidos parciales en las mallas del No. 4, 8, 16, 30, 50 y se anotan estos pesos como  $W_i$  en gramos, con excepción de los retenidos que se representan menos del 5 % en peso de la porción fina, los cuales se eliminan.
- b) Se vacían por separado *c/u* de las fracciones de 100 g en las canastillas con abertura equivalentes a la malla No. 100.

**Paso 2.** Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción gruesa, se la determina previamente a está su composición granulométrica y utilizando las mallas de 3" 2½", 2", 1½", 1¼", 1", ¾", 5/8", ½", 3/8", 5/16", y la No. 4. se anotan los retenidos parciales en porcentaje con respecto al peso total de la porción y se procede:

- a) Se lava toda la porción gruesa por la malla No. 4., hasta que el agua, al pasar por el material, salga clara, se vierte en una charola el material lavado y se seco en el horno hasta peso constante a una temperatura  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente.
- b) Se criba para cada tamaño nominal, las fracciones de prueba con los pesos de material indicados en la tabla siguiente, anotando estos pesos como  $W_i$  en gramos, con excepción de los retenidos parciales que representan menos del 5% en peso de la porción gruesa, los cuales se eliminan.

Tamaño nominal del material clasificado Mallas (mm)	Fracciones con que se integrarán las muestras		
	Mallas con abertura nominal en (mm)	Peso (gr)	Peso Total (gr)
75.0 a 37.50	75.0 a 50.00	3000 ± 300	5000 ± 300
	50.0 a 37.50	2000 ± 200	
37.5 a 19.00	37.5 a 25.00	1000 ± 50	1500 ± 50
	25.0 a 19.00	0500 ± 30	
19.0 a 09.50	19.0 a 12.50	0670 ± 10	1000 ± 10
	12.5 a 09.50	0350 ± 5	
09.5 a 04.75	09.5 a 4.75	0300 ± 5	

Tabla 5. Fracciones con que se integrarán las muestras.

- c) Se vacían por separado cada una de las fracciones de prueba en las canastillas con abertura equivalentes a la malla No.8

#### Desarrollo de la prueba.

1. Se agita vigorosamente la solución de sulfato de sodio o de magnesio para homogeneizarla, determinar con el densímetro, su peso específico relativo, el cual debe estar comprendido entre 1.151 a 1.174; se vierten cada uno de los recipientes de la solución para que al introducir las canastillas con materiales pétreos, éste quede cubierto con un tirante mínimo de 2 cm.
2. Se sumergen en su respectivo recipiente de plástico con solución cada una de las canastillas que contienen las diferentes fracciones de prueba de las porciones fina y gruesa, y se mantienen en estas condiciones durante 16 a 18 hrs, a una temperatura de  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ , permaneciendo tapados los recipientes para reducir la evaporación y evitar la introducción de partículas extrañas.
3. Se extraen de la solución las canastillas conteniendo las fracciones de prueba y se dejan escurrir durante  $15 \pm 5$  min, remover periódicamente los agregados durante esta operación; terminada ésta, se sacan del horno en sus respectivas canastillas y se

dejan enfriar a la temperatura ambiente, con lo cual concluye el primer ciclo de la prueba.

4. Se repiten las dos últimas operaciones cuatro veces más, en todas las fracciones de prueba contenidas en las canastillas.
5. Terminando el último ciclo, se lavan con agua todas las fracciones para eliminarles el sulfato remanente; de la última porción del agua de lavado se toma una muestra en un tubo de ensaye y se agregan 2 ó 3 gotas de la solución de cloruro de bario acidulada, y si aparece un precipitado blanco lechoso, se continuará lavando la muestra hasta que el precipitado no aparezca.
6. Se colocan en recipientes por separados cada una de las fracciones de prueba contenidas en las canastillas y se secan en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta peso constante, después de los cual se sacan del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente.
7. Se criba cada una de las fracciones de prueba, tanto de la porción fina como de la gruesa, por la malla correspondiente de las indicadas en la última columna de la tabla siguiente y de acuerdo con el tamaño nominal; se determina el peso del retenido en cada una de las mallas mencionadas y se anota como  $W_i$ , en gramos.

Fracción del material	Tamaño nominal del material clasificado. Mallas de:	Se criba por la malla de:
<b>Fina</b>	3/8" a No.4	3/8"
	No.4 a No.8	No.08
	No.8 a No.16	No.16
	No.16 a No.30	No.30
	No.30 a No.50	No.50
<b>Gruesa</b>	3" a 1 1/2"	1 1/2"
	1 1/2" a 3/4"	No.16
	3/4" a 3/8"	No.08
	3/8" a No.4	No.04

Tabla 6. Especificaciones para las fracciones del material.

En esta prueba, se calcula el por ciento en peso que pierden la porción gruesa y la porción fina en cada tamaño nominal, aplicando la siguiente fórmula:

$$P_i = [(W_i - W_f) \times W] / W_i$$

En donde:

$P_i$  = Pérdida de peso que presenta cada tamaño nominal de las porciones gruesas o fina en por ciento

$W$  = Por ciento en peso que de la porción fina o de la gruesa representa el tamaño nominal considerado, corregido para tomar en cuenta únicamente las fracciones que representan más del 5% de la porción fina o gruesa.

$W_i$  = es el peso inicial de la fracción de prueba seca, en gramos.

$W_f$  = es el peso final de la fracción de prueba seca, después del quinto ciclo, en gramos.

Se suman por separado los porcentajes de la pérdida de peso de cada tamaño nominal de las porciones fina o gruesa del material, se registran los dos valores obtenidos y se reporta como pérdida por intemperismo acelerado de la muestra total, el mayor valor de los obtenidos de la porción gruesa o de la fina. Adicionalmente se podrá indicar el número de partículas retenidas en la malla de  $\frac{3}{4}$ ", que se sometieron a los ciclos de prueba y después de efectuada ésta, el número de dichas partículas que resultaron afectadas, indicando cuántas de ellas se desintegraron, agrietaron o descascararon.

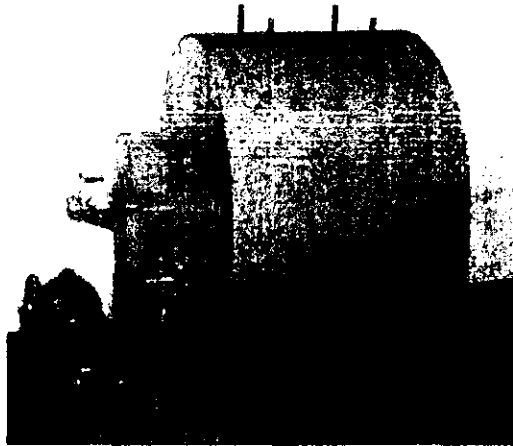
Precauciones.

- Verificar que las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio tengan la densidad especificada.
- No dejar material atrapado en las mallas, cuando se haga el cribado después de efectuar el quinto ciclo y evitar pérdidas de material durante la prueba.

## IV Equipo de Los Ángeles

### IV.1 Descripción

El equipo consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71.12 cm y una longitud interior de 50.80 cm. El cilindro deberá estar montado en pivotes que acoplen con los extremos del cilindro, pero que no penetren en él (el equipo ya es de una sola pieza) y deberá estar montado de tal manera que pueda girar con su eje en posición horizontal.



*Figura 4.* Equipo de abrasión de los ángeles

Se deberá dejar una abertura en el cilindro para introducir por ella la muestra de prueba. Se usará una tapa, a prueba de polvo, para cubrir la abertura y esta deberá ser fijada en su lugar por medio de tornillos.

La cubierta deberá estar diseñada de modo que conserve el contorno cilíndrico de la superficie interior, a menos que el entrepaño esté situado de modo que la carga no caiga sobre la cubierta o se ponga en contacto con ella durante la prueba.

### III.3.4 Ensayes de intemperismo químico

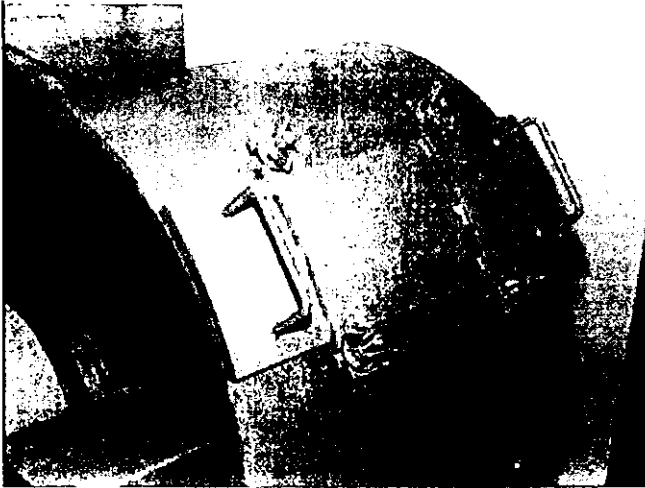
A continuación presentare tres ensayos de materiales pétreos con la prueba de intemperismo químico que realice en la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), a si como en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNAM.

Ensaye No. 1 Es un material semitriturado, es conocido como basalto vesicular.

Ensaye No. 2 Es un material heterogéneo, boleas de ríos semitriturada (caliza, riolita, andesita, basalto).

Ensaye No. 3 Es una roca metamorfica filita.

Ensaye	Granulometria	wi	Ciclo completo de saturación y secado (Días)					Wf	Wi -Wf	Intemperismo parcial %	Intemperismo final %
			1	2	3	4	5				
1	½"	381.62	completo	completo	completo	completo	completo	370.99	10.63	2.78	2
	3/8"	484.46	completo	completo	completo	completo	completo	478.67	5.79	1.19	2
2	½"	250.70	completo	completo	completo	completo	completo	231.14	19.56	7.8	7
	3/8"	325.86	completo	completo	completo	completo	completo	101.01	224.88	6.9	7
3	½"	496.22	completo	completo	completo	completo	completo	297.732	198.48	4	4
	3/8"	387.92	completo	completo	completo	completo	Completo	129.91	258.01	3.3	4

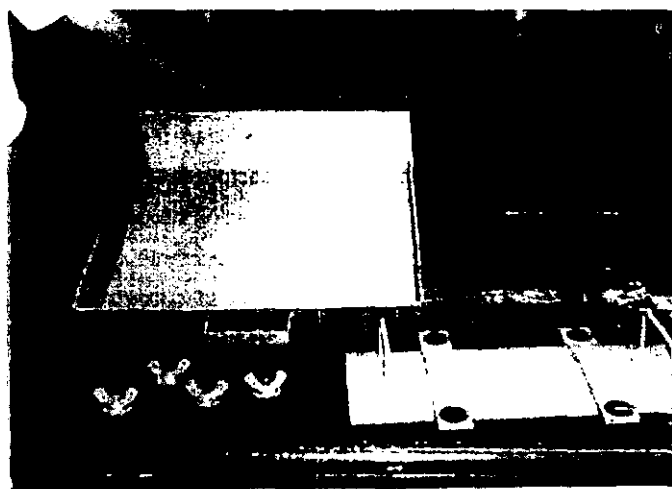


*Figura 5. Tapa a prueba de polvo.*

Se deberá montar a lo largo de un elemento de la superficie interior del cilindro un entrepaño de acero removible que sobresalga radialmente 8.89cm, dentro del cilindro y se extienda en toda su longitud. El entrepaño deberá ser de un cierto espesor y se montará por medio de remaches u otros medios apropiados, para que sea firme y rígido. La posición del entrepaño dentro del cilindro y con respecto a la abertura y medida a lo largo de la circunferencia del cilindro en la dirección de rotación no debe ser menor a 127 cm. Debe usarse de preferencia un entrepaño de acero resistente al desgaste, de sección transversal rectangular y montando independiente de la cubierta. Sin embargo, podrá usarse un entrepaño que consiste de una sección de ángulo laminado, montado en forma apropiada sobre el interior de la placa de cubierta, siempre y cuando la dirección de rotación sea tal que la carga se reciba en la cara exterior del ángulo.

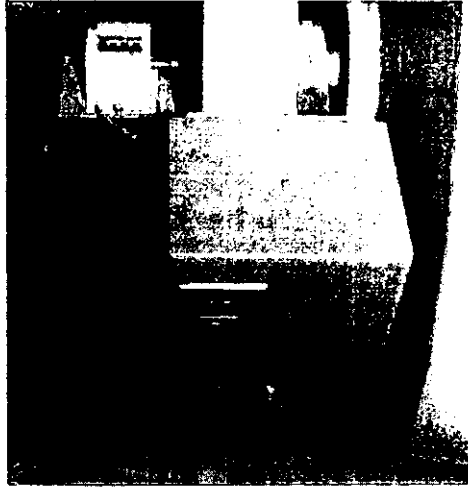


*Figura 6. Entrepaña de acero removible.*

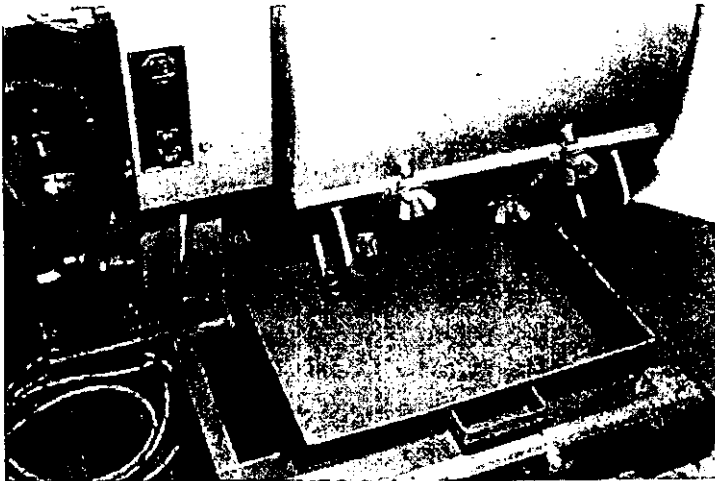


*Figura 7. Accesorios*





*Figura 8. Contador.*



*Figura 9. Encendido y Apagado.*

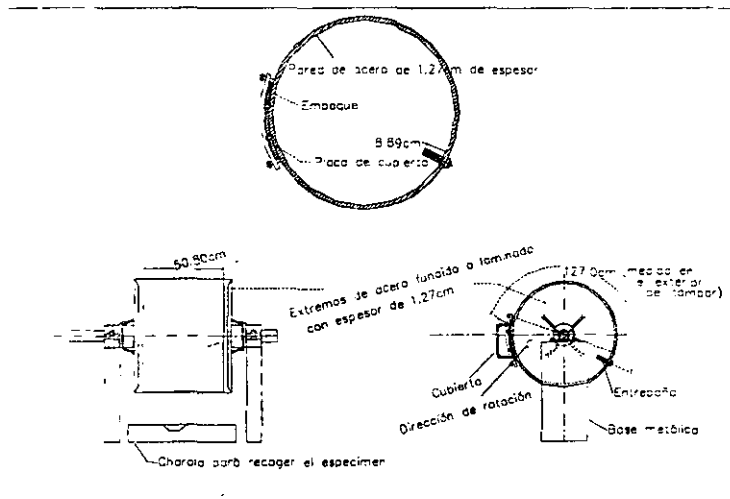


Figura 10. Equipo de abrasión de los Ángeles.

## IV.2 Diseño de la cimentación

La cimentación de las máquinas deben proyectarse de tal forma que extiendan la carga de la maquinaria instalada, sobre el mayor terreno posible, a fin de que no tenga lugar un asentamiento excesivo o una inclinación del bloque de cimentación con relación al piso o a otras instalaciones fijas; han de tener rigidez suficiente para impedir la rotura o el pandeo excesivo bajo esfuerzos originados por cargas concentradas muy pesadas, o por maquinaria oscilante o rotatoria desequilibrada; deben absorber o amortiguar las vibraciones a fin de impedir las molestias o el daño que puedan causar a las propiedades o instalaciones adyacentes; y deben resistir el ataque químico o cualquier otra acción agresiva resultante de los procesos de fabricación.

Deben proyectarse para poder montar los equipos (a menudo con gruas) y nivelarlos, conectar los acoplamientos, ajustar y poner en condiciones de funcionar todo el

equipo, con motores y elementos auxiliares. Debe disponerse además en forma que puedan desmontarse, repararse y volverse a montar la maquinaria en partes o en su totalidad.

Dado que el equipo de abrasión de los ángeles por sus dimensiones y movimientos, no hay mucho problema en la cimentación las vibraciones son mínimas y se absorberán por medio de monturas (neopreno), para reducir la amplitud de la vibración transmitida al bloque de apoyo (losa), la montura debe tener una frecuencia mucho más pequeña que la de las vibraciones emitidas por la máquina. Cuando la frecuencia de la montura es muy baja, recibe el nombre de "monturas blandas", que son además para máquinas vibratorias que no producen sacudidas violentas o vibraciones con gran amplitud y en las que la intensidad de carga sobre la cubierta de goma no sea tan elevado como para que los materiales se tornen más duros por efecto de la compresión.

El neopreno es un material con una durabilidad razonable pudiéndose esperar una vida de al menos 25 años.

El equipo no opera con la suficiente rapidez y continuidad para originar que los objetos próximos vibren de modo perjudicial, y se puede amortiguar el golpe y aun más la zona de Ciudad Universitaria es roca, probablemente no causará suficiente impacto para poner la roca en movimiento, pero sin embargo puede ser molesto el ruido

### **IV.3 Procedimiento de la prueba**

Esta prueba tiene por objeto determinar el desgaste de los materiales pétreos que se emplean en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas de riego, riegos de sello y otros usos, y se puede estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc; la prueba consiste en someter a las muestras de material pétreo seco y con determinación granulometría a un proceso de abrasión que se efectúa en la máquina Los Angeles, en la que se introduce la muestra junto con esferas metálicas y mediante una rotación de dicha máquina se origina entre las esferas y el material cargas abrasivas y de impacto.

## EQUIPO

El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

- Máquina de abrasión Los Angeles.
- Esferas de acero con un diámetro de 4.76 cm, con peso comprendido entre 390 a 445 gr cada una. La carga abrasiva, de acuerdo con la granulometría de la muestra de prueba que se describe en la figura 5.
- Mallas de: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾" ½" 3/8", ¼" y No. 4, 8, 12
- Horno con termostato que mantenga una temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza de capacidad de veinte 20 kg. y aproximación de un 1 gr.
- Charolas de lámina rectangulares.

## PREPARACION DE LA MEZCLA

1. De una muestra de material pétreo, se toma por cuarteo una porción representativa de 20 kg aproximadamente.
2. Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto  $\gamma_d$ , así como la composición granulométrica de la muestra de 20 kg.
3. Se criba la muestra por la malla No.12 y se lavan sobre dicha malla las partículas retenidas, pudiendo evitarse el lavado cuando se observan limpias.
4. Se seca en el horno la fracción retenida en la malla No.12 a una temperatura de  $(105 \pm 5^{\circ}\text{C})$ , hasta obtener peso constante.
5. Se seleccionan en la siguiente tabla 7, el tipo de muestra y además requisitos de la prueba, en función de la granulometría de proyecto, la granulometría que corresponda al material de acuerdo con el uso que se le pretenda dar, o bien, a la muestra original, en cada caso, se selecciona el tipo de muestra que se apegue más a la composición granulométrica del material por ensayar.

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA (GR)	CARGA ABRASIVA		No. DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr)	
<b>A</b>	1 ½"	1"	1250±25	12	5000±25	500
	1"	¾"	1250±25			
	¾"	½"	1250±10			
	½"	3/8"	1250±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				
<b>B</b>	¾"	½"	2500±10	11	4584±25	500
	½"	3/8"	2500±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				
<b>C</b>	3/8"	½"	2500±10	8	3330±20	500
	½"	No.4	2500±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				
<b>D</b>	No.4	No.8	5000±10	6	2500±15	500
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				
<b>E</b>	3"	2 ½"	2500±50	12	5000±25	1000
	2 ½"	2"	2500±50			
	2"	1 ½"	5000±50			
<b>TOTAL</b>		<b>10000±100</b>				
<b>F</b>	2"	1 ½"	5000±50	12	5000±25	1000
	1 ½"	1"	5000±25			
<b>TOTAL</b>		<b>10000±75</b>				
<b>G</b>	1 ½"	1"	5000±25	12	5000±25	1000
	1"	¾"	5000±25			
<b>TOTAL</b>		<b>10000±50</b>				

Tabla 7. Especificaciones para el Desgaste de los Angeles.

6. De acuerdo con el tipo de muestras seleccionado, se clasifica el retenido de la malla No.12, cribándolo por las mallas correspondientes; a continuación, se pesan y mezclan las fracciones respectivas para integrar la muestra de prueba y se registra su peso total como  $W_i$ , en gramos.

#### FORMA DE EFECTUAR LA PRUEBA

7. A partir del punto 5) se determinan el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra seleccionado.
8. Se colocan dentro del cilindro de la máquina de Los Angeles la muestra de prueba con peso  $W_i$ , y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra ésta herméticamente.
9. Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de 30 a 33 revoluciones, hasta completar 500 rpm, en el caso de muestras de los tipos A, B, C, D. y de 1000 revoluciones para las de los tipos E, F y G.
10. Se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla No. 12, se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como  $W_f$  en gramos.

#### IV.4 Procesamiento de los datos

##### REGISTRO Y CALCULOS A REALIZAR

El porcentaje de desgaste del agregado pétreo, por medio de la fórmula siguiente:

$$D(\%) = 100 \times (W_i - W_f) / W_i$$

En donde:

$D$  = desgaste del material pétreo, en por ciento.

$W_f$  = es el peso final de la muestra de prueba, en gramos.

$W_i$  = es el peso inicial de la muestra de prueba en gramos

PRECAUCIONES.

- a) Vigilar que la máquina se encuentre debidamente nivelada, que al funcionar no presente cabeceo, que trabaje a la velocidad específica y que se complete el número de revoluciones requerido para la prueba.
- b) Evitar pérdidas de material durante la prueba.
- c) Verificar que se cumplan los requisitos señalados en la tabla, para la carga abrasiva, en lo que respecta al número de esferas y a su peso total.

## IV.5 ENSAYES DE DESGASTE A MATERIALES PETREOS

A continuación ilustrare los ensayos que realice en la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT).

### ENSAYE 1

1.- De una muestra de material pétreo, se toma por cuarteo una porción representativa de 20 kg.

En este caso es un material semitriturado, es conocido como basalto vesicular.

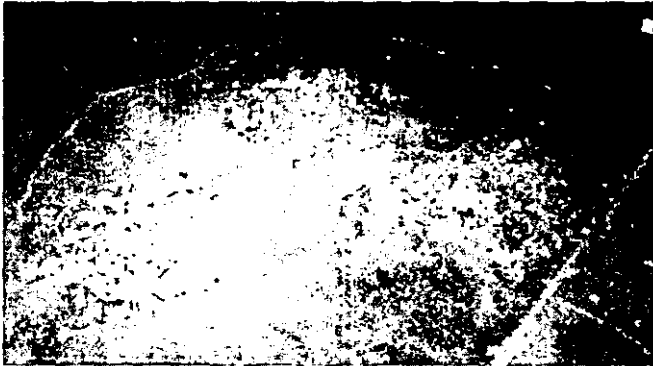


Figura 11. Cuarteo, porción representativa.

2.- Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto  $\gamma_d$ , así como la composición granulométrica de la muestra.

DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO DE MATERIAL SECO Y SUELTO Y COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA				
FECHA:	14 /jun/99	ENSAYE No:	1	
PESO BRUTO :	15869 gr.	VOLUMEN:	9.8 m <sup>3</sup>	
TARA:	2090 gr.	PESO VOLUMETRICO:	1406 kg/m <sup>3</sup>	
PESO NETO:	13779 gr.			
MALLA	RETENIDO PARCIAL (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
2"	0	0		
1 1/2"	0	0		100
1"	1207	9	9	91
3/4"	2960	21	30	70
1/2"	3822	28	58	42
3/8"	4270	31	89	11
1/4"	1520	11	100	0
No.4	0			
Pasa No. 4	0			
Suma	13779	100		



Este material no presentó partículas significativas en la retención de la malla No. 12.

Se puede observar que la mayor retención es en la malla No. 1/2" y en 3/8", con la ayuda de la Tabla 7 del capítulo anterior, se define la muestra como tipo "B".

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA (GR)	CARGA ABRASIVA		No. DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr)	
<b>B</b>	3/4"	1/2"	2500±10	11	4584±25	500
	1/2"	3/8"	2500±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				

Por lo tanto pesamos 2500±10 gr. de material pétreo que pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla de 1/2" más 2500±10 gr. de material que pasa la malla de 1/2" y se retiene en la malla de 3/8"

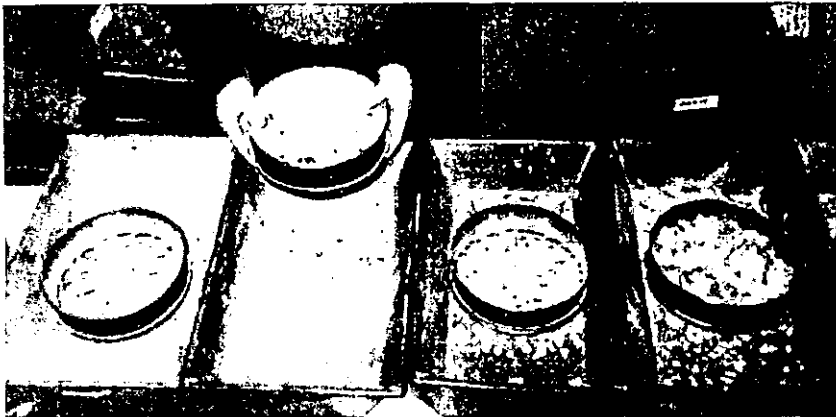
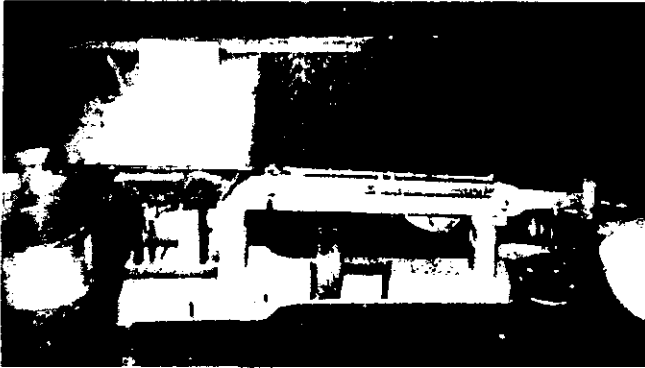
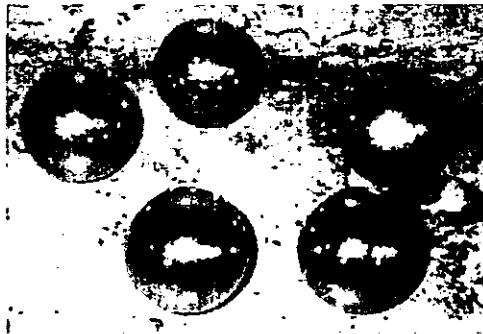


Figura 12. Obtención del material con cierta granulometría



*Figura 13. Peso de la Muestra.*

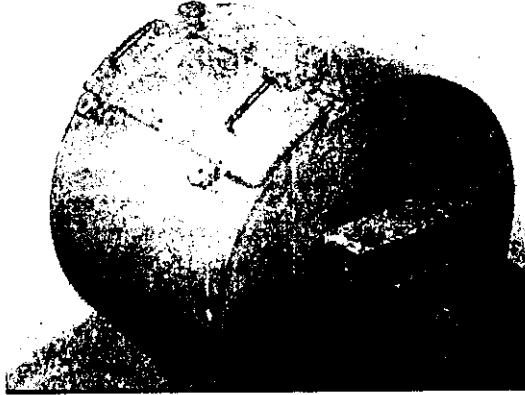
La carga abrasiva serán esferas de acero con un diámetro de 47.6 mm con un peso de 390 a 445 gr cada una, aproximadamente.



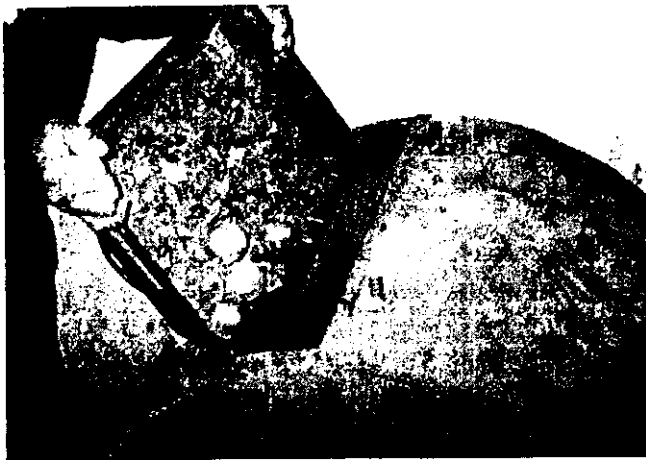
*Figura 14. Carga Abrasiva Esferas de Acero.*

En este caso se colocan 11 esferas con un peso aproximadamente de 500gr.

El siguiente paso será colocar en material en el equipo de los ángeles

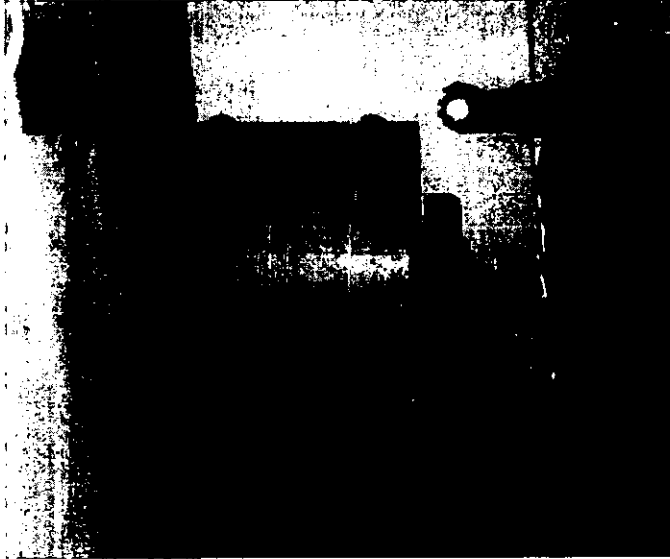


*Figura 15.* Equipo de los ángeles.

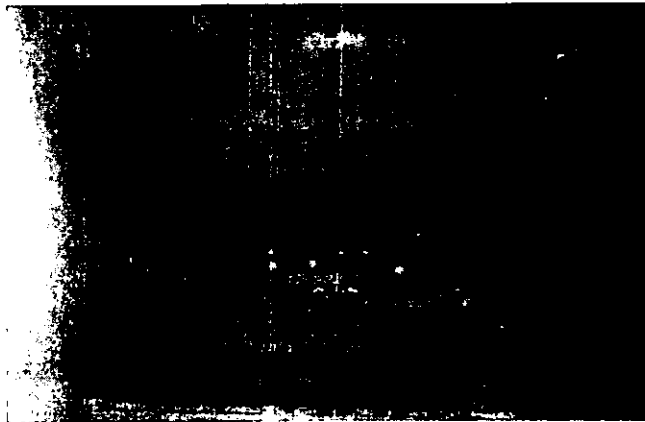


*Figura 16.* Se deposita la muestra junto con la carga abrasiva.

En este caso con la ayuda de la Tabla 7, se obtiene el número de 500 revoluciones, que es equivalente a 15 minutos aproximadamente



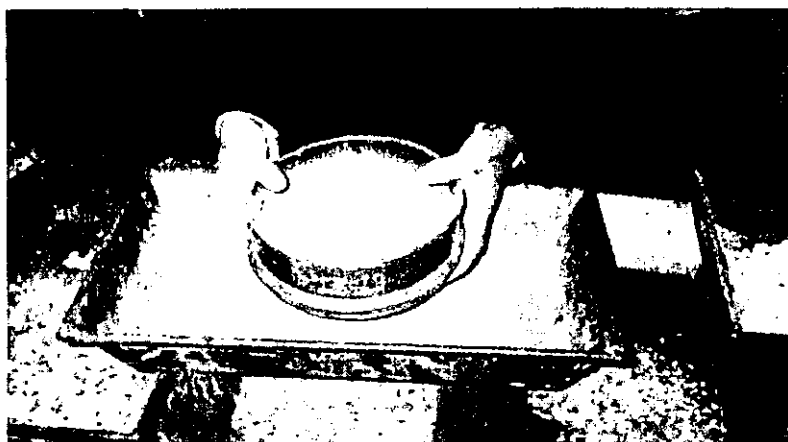
*Figura 17. Tomando Tiempo.*



*Figura 18. Depositando el material en la charola.*



*Figura 19. Obtención del material*



*Figura 20. Cribando Material.*

La fracción retenida de la malla No.12, se registra su peso como  $W_f$  en gramos, se sustituyen valores en la siguiente formula:

$$D(\%)=100 \times ( W_i - W_f ) / W_i$$

En donde:

D = desgaste del material pétreo, en por ciento.

$W_f$  = es el peso final de la muestra de prueba, en gramos.

$W_i$  = es el peso inicial de la muestra de prueba en gramos

#### DATOS

$W_f$  = 3680 gr

$W_i$  = 5000 gr

#### SUSTITUCION

$$D(\%) = \frac{5000 - 3680}{5000} \times 100 = 27.4\%$$

#### RESULTADO

**D(%)=27.4%**

**ENSAYE 2.**

Esta prueba se hizo en la Facultad de Ingeniería en el laboratorio de Mecánica de Suelos.

Es un material heterogéneo, boleos de río semitriturada (calizas, riolita, andesita, basalto).

DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO DE MATERIAL SECO Y SUELTO Y COMPOSICIÓN GRANULOMETRICA				
FECHA: <u>23 /marzo/2000</u>		ENSAYE No: <u>2</u>		
PESO BRUTO : <u>23178 gr.</u>		VOLUMEN: <u>16.2 m<sup>3</sup></u>		
TARA: <u>1102 gr.</u>		PESO VOLUMETRICO: <u>1583 kg/m<sup>3</sup></u>		
PESO NETO: <u>22076 gr.</u>				
MALLA	RETENIDO PARCIAL (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
2"	0	0	0	0
1 ½"	3255	15	15	85
1"	9334	42	57	43
¾"	8076	37	94	6
½"	253	1	95	5
3/8"	1158	5	100	0
¼"	0	0		
No.4	0	0		
Pasa No. 4	0	0		
Suma	22076	100		

Este material no presento partículas significativas en la retención de la malla No.12.

Se puede observar que la mayor retención es en la malla No. 1" y en 3/4", con la ayuda de la Tabla 7, se define la muestra como tipo "G".

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA (GR)	CARGA ABRASIVA		No. DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr)	
<b>G</b>	1 ½"	1"	5000±25	12	5000±25	1000
	1"	¾"	5000±25			
<b>TOTAL</b>			<b>10000±50</b>			

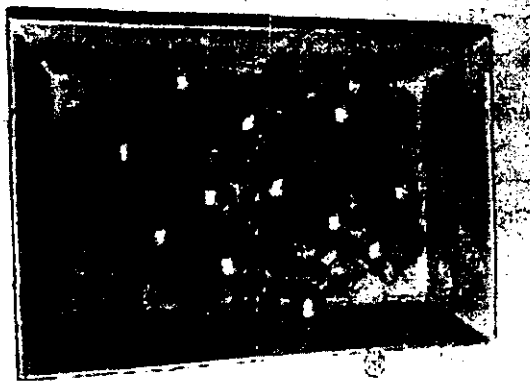


Figura 21 Porción representativa con carga abrasiva.

La fracción retenida de la malla No.12, se registra su peso como  $W_f$  en gramos, se sustituyen valores en la siguiente formula:

$$D(\%) = 100 \times (W_i - W_f) / W_i$$

En donde:

$D$  = desgaste del material pétreo, en por ciento.

$W_f$  = es el peso final de la muestra de prueba, en gramos.

$W_i$  = es el peso inicial de la muestra de prueba en gramos.

#### DATOS

$W_f = 8150$  gr

$W_i = 10000$  gr

#### SUSTITUCION

$$D(\%) = \frac{10000 - 8150}{10000} \times 100 = 18.50\%$$

#### RESULTADO



D(%)=18.50%

### ENSAYE 3.

Esta prueba se hizo en la Facultad de Ingeniería en el laboratorio de Mecánica de Suelos.

Es una roca metamórfica filita-lutita.

DETERMINACIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO DE MATERIAL SECO Y SUELTO Y COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA				
FECHA:	27 /marzo/2000		ENSAYE No:	3
PESO BRUTO :	30747 gr.		VOLUMEN:	11.2 m <sup>3</sup>
TARA:	2250 gr.		PESO VOLUMETRICO:	1250 kg/m <sup>3</sup>
PESO NETO:	28497 gr.			
MALLA	RETENIDO PARCIAL (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
2"	6875	24	24	76
1 1/2"	8950	31	55	45
1"	8620	31	86	14
3/4"	2960	10	96	4
1/2"	0822	3	99	1
3/8"	0270	1	100	0
1/4"	0			
No.4	0			
Pasa No. 4	0			
Suma	28497	100		

Este material no presento partículas significativas en la retención de la malla No.12.

Se puede observar que la mayor retención es en la malla No. 11/2" y en 1", con la ayuda de la Tabla 7, se define la muestra como tipo "F".

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA (GR)	CARGA ABRASIVA		No. DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr)	
F	2"	1 1/2"	5000±50	12	5000±25	1000
	1 1/2"	1"	5000±25			
TOTAL			10000±75			

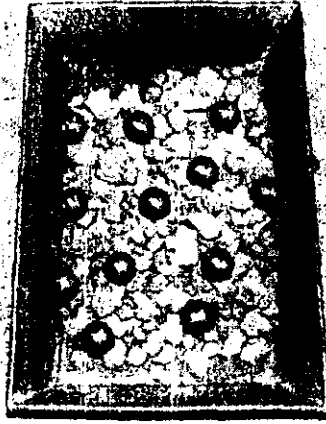


Figura 22 Porción representativa con carga abrasiva.

La fracción retenida de la malla No.12, se registra su peso como  $W_f$  en gramos, se sustituyen valores en la siguiente formula:

$$D(\%)=100 \times ( W_i - W_f ) / W_i$$

En donde:

$D$  = desgaste del material pétreo, en por ciento.

$W_f$  = es el peso final de la muestra de prueba, en gramos.

$W_i$  = es el peso inicial de la muestra de prueba en gramos

DATOS

$W_f$  = 7530 gr

$W_i$  = 10000 gr

SUSTITUCION

$$D(\%) = \frac{10000 - 7530}{10000} \times 100 = 32\%$$

RESULTADO

$D(\%)=32\%$

## V Ensaye de desgaste a materiales de la carpeta

### V.1 Ensayes de los Ángeles

Se entiende que la prueba de los ángeles puede ser en forma general para cualquier tipo de material pétreo y para cualquier utilidad sin embargo ahora haré más ensayos a los materiales pétreos de la carpeta de rodamiento.

De acuerdo a la tabla 7 del capítulo IV hay siete tipos de muestras, el tipo depende de la granulometría del material.

El material pétreo del tipo A es utilizado para el concreto hidráulico, el tipo B es utilizada para la carpeta, el tipo C es para el riego de sello, el cual se define a la aplicación de un ligante asfáltico sobre una superficie de rodadura, seguida de la extensión y compactación de una capa de arena, agregado fino o polvo de trituración, el objetivo de estos riegos es el sellar o impermeabilizar dichas superficies de rodadura, protegiendo las capas inferiores contra el agua de lluvia, así como la fijación de los agregados superficiales; el tipo D se utiliza para la arena de concreto hidráulico, el tipo E, F para basaltos de vía y por último el tipo G se utiliza para concreto hidráulico.

Por lo tanto los de la carpeta serían el tipo B y C.

TIPO DE MUESTRA	GRANULOMETRIA		PESO DE LA MUESTRA (GR)	CARGA ABRASIVA		No. DE REVOLUCIONES
	PASA MALLA	RETIENE MALLA		No. DE ESFERAS	PESO TOTAL (gr)	
<b>B</b>	3/4"	1/4"	2500±10	11	4584±25	500
	1/2"	3/8"	2500±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				
<b>C</b>	3/8"	1/4"	2500±10	8	3330±20	500
	1/4"	No.4	2500±10			
<b>TOTAL</b>		<b>5000±10</b>				

Haciendo el mismo procedimiento de la prueba de los Ángeles ensayare 32 materiales diferentes para la determinación del desgaste, algunos materiales tuvieron que ser tratados para que se cumpliera con la granulometría adecuada para ser utilizados en carpeta.

ENSAYE No.	CLASIFICACION PETROGRÁFICA	TIPO DE DESGASTE	% DE DESGASTE EN ORDEN ASCENDENTE
1	Basalto	C	13
2	Basalto	B	15
3	Basalto	B	17
4	Basalto	B	18
5	Basalto	C	20
6	Basalto	B	22
7	Basalto	C	22
8	Basalto	C	24
9	Tezontle	C	11
10	Tezontle	C	15
11	Tezontle	B	17
12	Tezontle	B	17
13	Tezontle rojo	B	18
14	Tezontle negro	B	18
15	Tezontle	C	19
16	Tezontle	C	20
17	Andesita	B	30
18	Andesita	C	34
19	Andesita	B	38
20	Andesita	C	53
21	Andesita	C	53
22	Andesita	C	55
23	Andesita	C	55
24	Andesita	C	55
25	Riolita	B	20
26	Riolita	C	21
27	Riolita	B	22
28	Riolita	C	30
29	Riolita	C	33
30	Riolita	B	38
31	Riolita	B	38
32	Riolita	B	40

## V.2 Ensayes de intemperismo acelerado

Los mismos materiales de los que se hizo la prueba de Los Angeles se hizo el intemperismo acelerado esto con el fin de comparar los diferentes desgastes en las muestras del material pétreo

Esta prueba permite estimar la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo, consiste en someter a los agregados pétreos a varios ciclos de saturación en solución de sulfato de sodio y secarlo en horno, que producen degradación del material pétreo.

ENSAYE No.	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA	TIPO DE DESGASTE	% DE DESGASTE SEGUN GRANULOMETRIA	% DE DESGASTE EN ORDEN ASCENDENTE
1	Basalto	C ¼" No.4	0 0	0
2	Basalto	B ½" 3/8"	0 1	1
3	Basalto	B ½" 3/8"	1 1.5	2
4	Basalto	B ½" 3/8"	2 3	3
5	Basalto	C ¼" No.4	3 3	3
6	Basalto	B ½" 3/8"	3 4	4
7	Basalto	C ¼" No.4	4 4	4
8	Basalto	C ¼" No.4	5 4	5

ENSAYE No.	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA	TIPO DE DESGASTE	% DE DESGASTE SEGUN GRANULOMETRIA	% DE DESGASTE EN ORDEN ASCENDENTE
9	Tezontle	C ¼" No.4	0 1	0
10	Tezontle	C ¼" No.4	1 1	1
11	Tezontle	B ½" 3/8"	2 1.5	2
12	Tezontle	B ½" 3/8"	2 2	2
13	Tezontle rojo	B ½" 3/8"	2.5 3	3
14	Tezontle negro	B ½" 3/8"	4 3	4
15	Tezontle ligero	C ¼" No.4	4 4	4
16	Tezontle denso	C ¼" No.4	5 4.5	5
17	Andesita	B ½" 3/8"	5 5	5
18	Andesita	C ¼" No.4	5.5 6	6
19	Andesita	B ½" 3/8"	5 8	8
20	Andesita	C ¼" No.4	8 5	8
21	Andesita	C ¼" No.4	8 8	8

ESTA TERCERA NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

v Ensaye de desgaste a materiales de la carpeta

ENSAYE No.	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA	TIPO DE DESGASTE	% DE DESGASTE SEGUN GRANULOMETRIA	% DE DESGASTE EN ORDEN ASCENDENTE
22	Andesita	C ¼"	9	10
		No.4	9.5	
23	Andesita	C ¼"	6	10
		No.4	10	
24	Andesita	C ¼"	10	10
		No.4	7	
25	Riolita	B ½"	15	15
		3/8"	13	
26	Riolita	C ¼"	16	16
		No.4	16	
27	Riolita	B ½"	15	16
		3/8"	16	
28	Riolita	C ¼"	18	18
		No.4	16.5	
29	Riolita	C ¼"	17.5	20
		No.4	19.5	
30	Riolita	B ½"	20	20
		3/8"	20	
31	Riolita	B ½"	23	23
		3/8"	20.5	
32	Riolita	B ½"	25	25
		3/8"	22	

## V.3 Comparativa

ENSAYE No.	CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA	% DE DESGASTE	
		LOS ANGELES	INTEMPERISMO.
1	Basalto	13	0
2	Basalto	15	1
3	Basalto	17	2
4	Basalto	18	3
5	Basalto	20	3
6	Basalto	22	4
7	Basalto	22	4
8	Basalto	24	5
9	Tezontle	11	0
10	Tezontle	15	1
11	Tezontle	17	2
12	Tezontle	17	2
13	Tezontle rojo	18	3
14	Tezontle negro	18	4
15	Tezontle	19	4
16	Tezontle	20	5
17	Andesita	30	5
18	Andesita	34	6
19	Andesita	38	8
20	Andesita	53	8
21	Andesita	53	8
22	Andesita	55	10
23	Andesita	55	10
24	Andesita	55	10
25	Riolita	20	15
26	Riolita	21	16
27	Riolita	22	16
28	Riolita	30	18
29	Riolita	33	20
30	Riolita	38	20
31	Riolita	38	23
32	Riolita	40	25



Se observa que caen en un rango, dependiendo de la clasificación petrográfica.

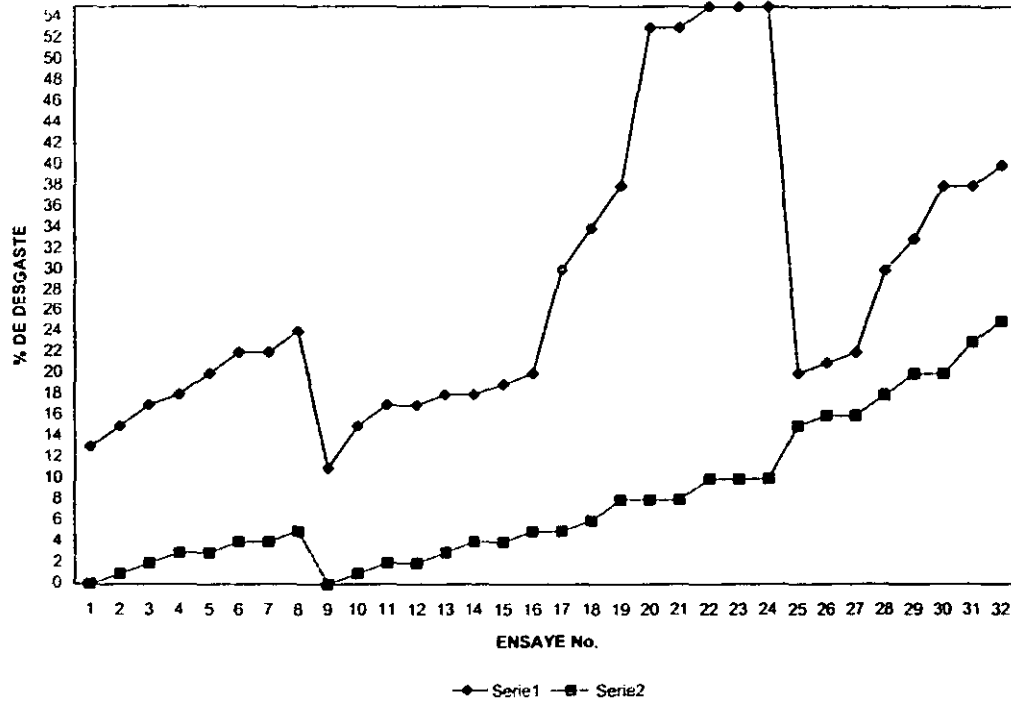
CLASIFICACION PETROGRAFICA	% DE DESGASTE	
	LOS ANGELES	INTEMPERISMO
BASALTO	13 - 24	0 - 5
TEZONTLE	11 - 20	0 - 5
ANDESITA	30 - 55	5 - 10
RIOLITA	20 - 40	15 - 25

En todos los casos hay una relación directamente proporcional y lineal  
 A menor Porcentaje de Desgaste de Intemperismo menor Porcentaje de los Ángeles y  
 A mayor Porcentaje de Desgaste de Intemperismo mayor Porcentaje de los Ángeles.

$$< \%DI < \%DA \quad Y \quad > \%DI > \%DA$$

$$\% DI \propto \%DA$$

COMPARATIVA



Serie 1 Prueba de Los Angeles.....

Serie 2 Prueba de Intemperismo Acelerado

## CONCLUSIONES

El objetivo principal que se planteo al inicio de este trabajo, sea cumplido satisfactoriamente, se muestra el uso e importancia del Equipo de Abrasión de los Ángeles, esto nos lleva en primera estancia en concluir la carpeta de rodamiento es una capa estructural que conforma un pavimento; un pavimento es una estructura artificial que contiene por objeto aminorar el efecto de las cargas estáticas con lo cual se logra disminuir las presiones que deben soportar las terracerías y así resistiendo los efectos destructivos del tránsito y de los agentes atmosféricos hay dos tipos de pavimentos los rígidos y los flexibles. Regresando a la carpeta de rodamiento esta puede ser asfáltica o losa de concreto hidráulico; las asfálticas se elaboran con materiales pétreos los cuales constituyen uno de los aspectos principales para que estas estructuras, proporcionen eficiencia, servicio y duración, estos deben ser seleccionados y procesados en forma congruente al tipo de roca y al uso que se les destine a fin de lograr en los pavimentos el menor costo posible y la calidad que se requiera para soportar los efectos del tránsito y el medio ambiente. Para ser seleccionados es necesario realizar exploración, muestreo y pruebas de laboratorio; las pruebas de laboratorio hay gran variedad pero las que pueden evaluar el desgaste son Desgaste de los Angeles e intemperismo acelerado. Las pruebas de desgaste sirven para darse una idea del comportamiento de los materiales, bajo la acción del tránsito, de los efectos abrasivos y de choque La de Desgaste de los Ángeles sirve para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de la partícula; mientras que la prueba de intemperismo acelerado estima la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo.

En el Desgaste de los ángeles entre menor porcentaje de desgaste salga es mejor, para que un material sea óptimo debe estar entre el 20 y 40% de desgaste

Al hacer la comparativa de las pruebas de desgaste entre los Angeles contra el Intemperismo se observa que hay una relación directamente proporcional y lineal entre ambas.

Así como a menor porcentaje de Desgaste de Intemperismo menor porcentaje de los Ángeles y a mayor Porcentaje de Desgaste de Intemperismo mayor porcentaje de los Ángeles.

El equipo de Los Ángeles de la SCT, es un equipo que no tiene contador, sin embargo 500 revoluciones equivale a 15 minutos, el de la facultad es un poco más sofisticado, pues cuenta con un contador, encendido y apagado y están integrados en el equipo.

Cabe mencionar que el equipo no está colocado en un lugar adecuado, se instaló en un lugar provisional sin embargo para su buen funcionamiento y no cause molestias de ruido es necesario instalarlo en un lugar aislado y con una cimentación apropiada

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- Paul H. Wright, Radnor J. Paquette., "Ingeniería de carreteras", Instituto Tecnológico de Georgia, Limusa, Grupo Noriega Editores, 5ª edición, 1979
- Ing. Jesús González Hermosillo., "Curso de Pavimentación", UNAM. F.I., 1992
- Landeros Ortiz Roberto, " Refuerzos de Pavimentos Flexibles por el método de Deflexiones Dinámicas", Trillas, 4ª edición, 1986.
- Fernando Olivera Bustamante , "Estructuración de Vías Terrestres", CECSA.,1989.
- Santiago Corro Caballero, Guillermo Prado Ollervides., "Comportamiento de los Pavimentos de altas especificaciones en la pista circular de Instituto de Ingeniería", UNAM, Diciembre 1997.
- XIII Reunión Nacional De Vías Terrestres, situación actual y futura de la infraestructura del transporte en México., proyeccion al siglo XXI, Memoria, Tomo I, (Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.)

### TESIS

- Ramón Fidencio Vega Armenta., "Construcción de Carreteras", Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, F.I. Civil, 1970.
- José Fco. Romero., "Reconstrucción del Pavimento de la Avenida de los cien metros", UNAM, 1977.
- Teofilo Treviño Pizarro., "Intervención del laboratorio en la construcción de caminos", Universidad Autónoma de Tamaulipas F.I. Civil, 1970.
- Gerardo Armando García Hernández., "Proyecto de Pavimentación de un subtramo de carretera en el estado de Oaxaca, UNAM, 1979.
- E.J. Yoder., "Pavimentos Rígidos y Flexibles" 1986.

### REVISTAS

- Instructivo para efectuar pruebas en materiales de pavimentación Vol. II, SCT., Subsecretaría de infraestructura apoyo didáctico, Dirección General de Proyectos Servicios Técnicos y concesiones.
- Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas dirección General de Proyectos y laboratorios. Departamento de laboratorios de Campo.
- Subsecretaria de Infraestructura, Guía general Tentativa para el uso de los nuevos asfaltos que produce Pemex.