



15  
2ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
" ARAGON "**

**PRUEBA DINAMICA DE DESGASTE PARA MA-  
TERIALES DE BAJA DENSIDAD**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

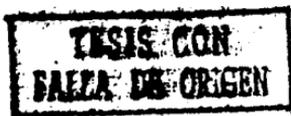
**P R E S E N T A :**

**SILVIA GONZALEZ MARTINEZ**

**ASESOR ING: FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE**

**MEXICO, D. F.**

**1988**





## **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 está 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.

## I N D I C E

CAPITULO I	TIPO DE PRUEBAS DE DUREZA A MATERIALES PETREOS PARA CARPETAS ASFALTICAS.	1
CAPITULO II	APLICACION DE PRUEBAS DE DENSIDAD Y DE "LOS ANGELES" A DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES.	20
CAPITULO III	COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS TEZONTLES EN CARPETAS ASFALTICAS Y RIEGO DE SELLO.	35
CAPITULO IV	OBTENCION DE UNA PRUEBA DE IMPACTOS PARA TENER EL MISMO DESGASTE QUE EN LA MAQUINA "LOS ANGELES" EN MATERIALES DE ALTA DENSIDAD Y APLICABLE A MATERIALES DE BAJA DENSIDAD.	44
CAPITULO V	CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFIA.		

CAPITULO I. TIPO DE PRUEBAS DE DUREZA A MATERIALES  
PETREOS PARA CARPETAS ASFALTICAS.

INICIO DE LAS CARRETERAS EN MEXICO

Al inventarse el automóvil, sustituyó a las carretas, convirtiéndose en un importante medio de transporte y como consecuencia surgió la necesidad de construir caminos apropiados para el tránsito de estos vehículos.

En el año de 1925 se inició la construcción de caminos en nuestro país - mediante proyectos, técnicas y especificaciones de Estados Unidos de - Norteamérica; sin embargo con el paso de los años, la Ingeniería Civil en este campo se ha desarrollado satisfactoriamente en México, ya que - actualmente contamos con una numerosa red de caminos proyectados y cons - truidos por profesionales mexicanos.

La inquietud por superar día con día la dependencia tecnológica se ha - manifestado con las aportaciones de una cantidad considerable de traba - jos que se llevan a la práctica a nivel mundial.

Cuando en nuestra actividad escolar, cursando cualquier materia, surgen teorías, pruebas, equipo, etc., que llevan el nombre de el estudioso que las crea o de su país de origen, por ejemplo: la Teoría de - - - - Boussinesq la Prueba Inglesa, la Copa de Casagrande, la máquina de des - gaste "Los Angeles", generalmente del extranjero, renace en nosotros el interés por resolver los problemas de ingeniería con teorías, pruebas y equipos propios.

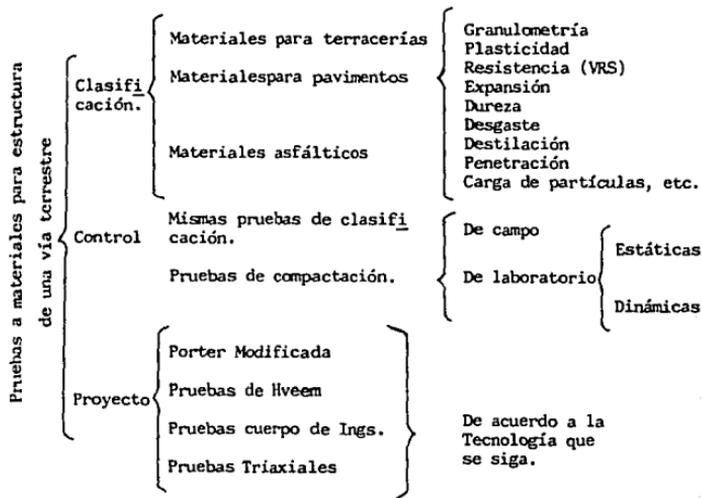
Haciendo un recorrido por los laboratorios de algunas escuelas y ofici - nas de gobierno, nos encontramos con la carencia de algún equipo que - por su alto costo, no fué abastecido, o equipo existente que por su me

canismo complejo no ha sido rehabilitado al descomponerse, es ahí donde se presenta la necesidad de ser más independiente técnicamente.

El presente trabajo de investigación intentó revisar los resultados que se han venido obteniendo en cuanto a la dureza de materiales pétreos para ser usados en carpetas asfálticas y proponer para ese fin un método de prueba sencillo y de acuerdo a la práctica y los resultados obtenidos, una modificación a las especificaciones de desgaste para hacerlas más rígidas y dejar de utilizar materiales deleznales.

Los materiales que se utilizan en la construcción, deben cumplir con los requisitos que se especifican en los reglamentos correspondientes.

Las pruebas que se llevan a cabo para conocer las características de los materiales de construcción de una vía terrestre, y que además nos permiten hacer una selección adecuada de ellos son los siguientes.



La prueba de clasificación a materiales para pavimentos que generó la atención de este trabajo es la de Desgaste, como un índice de dureza de las partículas.

Esta prueba consiste principalmente en provocar un desgaste en el material pétreo, por medio de la máquina "Los Angeles" con una carga abrasiva y los impactos que se originan al girar la máquina.

Se ha pensado que cuando tenemos materiales de baja densidad, esta prueba no es muy indicativa, debido a que la acción de la carga abrasiva no es la misma que en materiales de alta densidad, ya que con aquellos materiales se han tenido peores resultados aunque cumplen con la especificación correspondiente.

En materiales densos la caída del material pétreo es simultánea a la de la carga abrasiva; en cambio, si se trata de materiales de baja densidad, se cree que se presenta primero la caída de la carga abrasiva e instantes después la del material pétreo, motivo por el cual deducimos que el desgaste por abrasión e impactos es menor en este tipo de materiales.

#### PRUEBA DE DESGASTE "LOS ANGELES" .

Esta prueba tiene por objeto determinar el desgaste de los materiales que se emplean en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas de riego, riegos de sello y otros usos, para estimar el efecto perjudicial que se origina a los materiales, su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de la partícula, etc., la prueba consiste en someter a las muestras de materiales pétreos secos y con determinada 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 la rotación de la máquina se originan entre las esferas y el material cargas abrasivas y de impacto.

El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

Máquina de abrasión "Los Angeles", como la que se ilustra en la figura - No. I.1, constituida por un cilindro hueco de acero, cerrado en sus ex - tremos, con un diámetro interior de setecientos once (711) milímetros y longitud interior de quinientos ocho (508) milímetros, provisto de una abertura para la introducción del material, la cual puede cerrarse hermé - ticamente por medio de una cubierta dispuesta de manera que conserve el contorno de la superficie interior; el cilindro lleva en su parte supe - rior y a todo lo largo una placa radial de acero, removible, de ochenta y nueve (89) milímetros de ancho; dicho cilindro está montado en una ba - se rígida, mediante ejes fijos unidos a los centros de las cubiertas del mismo, de manera que pueda girar en una posición horizontal, con una ve - locidad de treinta a treinta y tres (30 a 33) revoluciones por minuto.

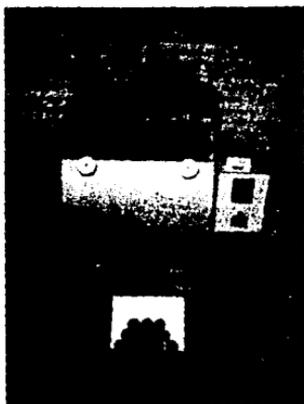


FIGURA No. I.1 Máquina "LOS ANGELES".

Esferas de acero con un diámetro de cuarenta y siete puntos seis (47.6) milímetros, con un peso comprendido entre trescientos noventa (390) y cuatrocientos cuarenta y cinco (445) gramos cada una.

Mallas de 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.36 y 1.7 milímetros.

Horno con termostato que mantenga una temperatura de ciento cinco más - menos cinco grados centígrados ( $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).

Balanza de capacidad de veinte (20) kilogramos y aproximación de un (1) gramo.

Charolas de lámina rectangulares.

La preparación de las muestras se efectuará de acuerdo con lo que indica a continuación:

A. De una muestra de material pétreo obtenida y preparada como se indica en muestreo, se tomará por cuarteo una porción representativa de veinte (20) kilogramos, aproximadamente.

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

C. Se criba la muestra por la malla de 1.7 milímetros y se lavan las partículas retenidas, pudiendo evitarse el lavado cuando se observan limpias.

D. Se saca en el horno la fracción retenida en la malla de 1.7 mm. a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados - - - - ( $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), hasta obtener peso constante.

E. Se selecciona en la tabla 1 de la Figura No. 1-2 el tipo de muestra y demás requisitos de la prueba, en función de la granulometría de proyecto, la granulometría que corresponda el material con el uso que se le -

pretenda dar o bien a la de la muestra original, en cada caso se selecciona el tipo de muestra que se apegue más a la composición granulométrica del material por ensayar.

TABLA I

CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS DE PRUEBA Y DE LA CARGA ABRASIVA.

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

FIGURA No. 1-2

f. De acuerdo con el tipo de muestras seleccionado, se clasifica el retenido en la malla de 1.7mm., cribándolo por las mallas correspondientes a continuación, se pesan y se mezclan las fracciones respectivas para integrar la muestra de prueba y se registra su peso tal como Wi en gramos.

La prueba se efectúa en la siguiente forma:

A. Se determina de la tabla 1, el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.

B. A continuación se colocan dentro del cilindro de la máquina "Los Angeles", la muestra de prueba con peso Wi, determinado como se describe en la tabla y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra ésta herméticamente.

C. Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de treinta a treinta y tres (30 a 33) revoluciones por minuto, hasta completar quinientas (500) revoluciones en el caso de muestras de tipo A, B, C y D, y de mil (1000) revoluciones para las de los tipos E, F, y G.

D. A continuación se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla de 1.7mm., se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como Wf en gramos.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

En donde:

D = es el desgaste del material pétreo, en por ciento

Wf = es el peso final de la muestra de prueba, en gramos

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

Al efectuar esta prueba deberán tenerse en cuenta las siguientes precauciones.

- a). Vigilar que la máquina se encuentre debidamente nivelada, que al funcionar no presente cabeceo, que trabaje a la velocidad especificada, y que se complete el número de revoluciones requerido para la prueba.
- b). Evitar pérdidas de materiales 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.

#### MUESTREO

En el caso de plantas de tratamiento.

1. El muestreo tiene por objeto conocer la calidad de los materiales pétreos, para orientar o encauzar la producción de estos; 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.
2. 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 diez

(10) kilogramos aproximadamente, se tomarán cada quince minutos y se combinarán para formar una muestra de cincuenta (50) kilogramos, que representará la producción durante el lapso en que se efectuó el muestreo; o bien se podrán ensayar por separado.

3. Cuando el muestreo se haga en la descarga de la tolva, se tomará en el vehículo de transporte una muestra de un (1) metro cúbico aproximadamente por cada cuatrocientos (400) metros cúbicos o fracción del material producido, se descargará en un lugar adecuado y se obtendrá por cuarteos sucesivos una muestra de cincuenta (50) kilogramos aproximadamente. Cuando se requiera mayor información se podrá tomar una muestra por cada cien (100) metros cúbicos o fracción, de acuerdo con el procedimiento indicado inicialmente en este inciso.

#### EN EL CASO DE ALMACENAMIENTO

1. Para el muestreo en almacenamientos se tendrán las precauciones debidas, ya que son materiales acomodados Figura No. 1-3 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 diez metros 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 cincuenta (50) kilogramos. 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 obtenido de cada sondeo es mayor de cincuenta (50) kilogramos se procederá a reducirla a este proceso mediante cuarteos sucesivos.



FIGURA No. 1-3 ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PETREOS.

## PESO ESPECIFICO O VOLUMETRICO SUELTO

El peso específico o volumétrico de un suelo, en estado suelto, sirve principalmente para determinar los coeficientes de variación volumétrica y pue de determinarse en el campo o en el laboratorio, pero permite tener una - idea de la dureza del material.

La determinación del peso específico o volumétrico de un suelo seco y - suelto en el laboratorio, consiste en obtener la relación entre el peso - del material y su volumen, una vez que la muestra ha sido debidamente pre parada.

El equipo necesario para efectuar esta prueba es el siguiente:

- Cucharón de lámina.
- Recipiente de lámina galvanizada No. 14, de forma cilíndrica, de diez (10) litros de capacidad, con un diámetro de veinticinco punto veinticuatro (25.24) centímetros y longitud de veinte (20) centímetros, su peso se obtendrá directamente.
- Escantillón de veinte (20) centímetros.
- Regla de treinta (30) centímetros).
- Balanza de veinte (20) kilogramos de capacidad y cinco(5) gramos de aproximación.

La prueba se efectúa de la siguiente forma:

1. De una muestra de material se toma por cuarteo la porción necesaria pa ra llenar completamente el recipiente y se mezcla para homogeneizarla.

2. Empleando el cucharón de lámina se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de veinte (20) centímetros, hasta que se llene utilizando como referencia el escantillón y evitando que el material se acomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar el material utilizando la regla de treinta (30) centímetros.

3. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso  $W_{rm}$  con aproximación de cinco (5) gramos (Figura No. 1-4).

Se calcula el peso específico o volumétrico del material seco y suelto por medio de la fórmula siguiente:

$$d = \frac{100 (W_{rm} - W_r)}{v (100 + w)} = \frac{100 W_r}{v (100 + w)}$$

En donde:

$d$  es el peso específico o volumétrico del material seco y suelto, en kilogramos por metro cúbico.

$W_{rm}$  es el peso del recipiente conteniendo el material en kilogramos.

$W_r$  es el peso del recipiente en kilogramos

$W_m$  es el peso del material contenido en el recipiente, en kilogramos.

$v$  es el volumen del recipiente o del material contenido en el mismo en metros cúbicos.

$w$  es el contenido de agua remanente en el material, en por ciento.



FIGURA No. 1-4 OPERACION DEL PESADO RECIPIENTE Y MATERIAL.

#### PRUEBA DE DESGASTE "DEVAL"

La prueba de desgaste "Deval" 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 de la partícula de material. Igualmente da una idea de la presencia de partículas de laja, cuyas aristas vivas sufren una fuerte abrasión durante la prueba. Esta prueba se aplica a muestras constituidas por trozos de roca, roca triturada y grava triturada o sin triturar.

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, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en el banco, o en la que vayan a ser utilizados.

#### PRUEBA DE DESGASTE "DEVAL" A MATERIALES GRADUADOS.

El equipo necesario de prueba es el siguiente.

##### Máquina "DEVAL"

Seis (6) esferas de hierro fundido de cuarenta y siete punto seis (47.6) milímetros de diámetro y peso de cuatrocientos treinta (430) gramos, cada una.

Un juego de mallas Tyler estandar de abertura cuadrada de las siguientes denominaciones: 50.8, 38.1, 25.4, 19.05, 12.7, 9.52, 1.7 milímetros.

Un horno con temperatura de cien, a ciento diez grados Celsius (100 a 110° C).

Charolas de lámina.

Una balanza de veinte kilogramos (20) de capacidad y aproximación de un (1) gramo.

El procedimiento de prueba es como sigue:

La muestra del material graduado se lava para eliminar el polvo que lleven adherido las partículas y se secará. Se criba a través de las mallas antes anotadas para conocer su composición granulométrica.

Se debe integrar una de las granulometrías anotadas en la tabla 2 Figura No. 1-6 seleccionando la que más se asemeje a la granulometría escogida para la carpeta, sea que ésta se vaya a construir por el procedimiento de mezcla asfáltica o por el de tratamientos superficiales. Es muy conveniente efectuar por separado determinaciones de la pérdida de desgaste en los tamaños gruesos, y en los finos del material por ensayar, con el objeto de tener información más completa de sus características.

Cuando se cuenta con una grava que tenga hasta un veinticinco (25%) de partículas menores de 12.7 milímetros, debe determinarse el desgaste usando las mezclas A, B o C, pero es necesario efectuar una segunda prueba empleando las mezclas D y E, si se considera que son de distinta dureza las piezas mayores de (12.7) milímetros que las menores de éste tamaño.

La muestra ya preparada se colocará junto con las seis (6) esferas de hierro en la máquina "DEVAL", la cual se hará girar hasta completar 10,000 revoluciones. Se saca la muestra de la máquina y se lava a través de la malla de 1.7 mm. el retenido se secará en el horno hasta peso constante y se anotará el peso Pf.

El porcentaje de desgaste se calculará con la fórmula siguiente:

$$\% D = \frac{P_i - P_f}{P_i} = 100$$

En donde:

Pi = Peso original de la muestra

Pf = Peso final de la muestra después de sometida a la prueba de desgaste.

Las gravas que contengan más de diez por ciento (10%) de partículas trituradas, se consideran como grava triturada. En tales casos la prueba de - desgaste debe hacerse con el material, incluyendo las piezas trituradas - en la forma antes descrita. Debe determinarse el porcentaje en peso de - las partículas trituradas y se calcula el desgaste permitido por medio de la fórmula siguiente:

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

En donde:

A Es el porcentaje de partículas sin triturar.

100-A Es el porcentaje de partículas trituradas.

L Es el porcentaje de desgaste permisible para piedras o gravas sin partículas trituradas.

L' Es el porcentaje de desgaste permisible para piedra o grava triturada.

MAQUINA "DEVAL". Consiste en uno o más cilindros huecos de hierro fundido, cerrados por un extremo y cerrados, provistos de tapa con cierre hermetico por el otro, los cuales van montados formando un ángulo de treinta grados (30°) con el eje horizontal de rotación de la máquina. Las dimensiones interiores son: Diámetro veinte (20) centímetros y altura de treinta y cuatro (34) centímetros. La máquina está provista de un mecanismo - que le permite girar a razón de treinta a treinta y tres revoluciones por minuto, y lleva acoplado un contador de revoluciones (Figura No. 1-5)

La prueba de desgaste en la Máquina "DEVAL" es la que se presentó anteriormente y es para materiales graduados, existe otro procedimiento para la roca en trozos con la misma máquina pero con algunas variantes.

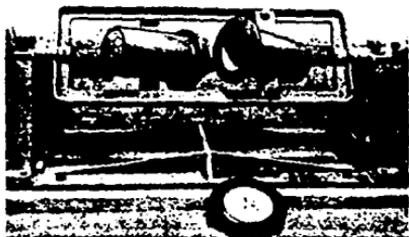


FIGURA No. 1-5 MAQUINA DE DESGASTE "DEVAL".

TABLA No. 2

FIGURA No. 1-6 GRANULOMETRÍA PARA LA PRUEBA DE DESGASTE DEVAL.

TIPO	T A M A Ñ O	Cantidad en gramos	
		Si D es mayor de 22	Si D es menor de 22
A	De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm. (1 1/2")	1 250	1 000
	De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.1 mm. (1")	1 250	1 000
	De 25.4 mm. (1") a 19.05 mm (3/4")	1 250	1 000
B	De 38.1 mm. ( 1 1/2") a 25.4 mm (1")	2 500	2 000
	De 25.4 mm. (1") a 19.50mm. (3/4")	1 250	1 000
	De 19.05 mm. ( 3/4") a 12.7 mm. (1/2")	1 250	1 000
C	De 25.4 mm (1") a 19.05 mm (3/4")	2 500	2 000
	De 19.05 mm. (3/4") a 12.7 mm (1/2")	2 500	2 000
D	De 19.05 mm. (3/4") a 12.7 mm (1/2")	2 500	2 000
	De 12.7 mm (1/2") a Núm. 4	2 500	2 000
E	De 12.7 mm (1/2") a 9.52 mm (3/8")	2 500	2 000
	De 9.52 mm (3/8") a Núm. 4	2 500	2 000

Actualmente la Secretaría de Comunicaciones Y Transportes sólo utiliza como índice de dureza de las partículas, la prueba de desgaste de "Los Angeles" para el uso de materiales en carpeta asfáltica presentando las si-guientes normas:

TIPO DE CARPETA	DESGASTE
Mezclas en frío y concreto asfáltico.	40 % máximo
Sistema de riegos	30 % máximo

CAPITULO II. APLICACION DE PRUEBAS DE DENSIDAD Y DE "LOS ANGELES"  
A DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES.

Entre Ingenieros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se ha tenido la inquietud de revisar el procedimiento de la prueba de desgaste de "Los Angeles" y las especificaciones respectivas ya que en la práctica se tienen materiales de baja densidad que cumplen con las normas pero que tienen un mal o pésimo comportamiento en la práctica. Lo anterior puede deberse a una mala aplicación de la prueba con estos materiales de baja densidad o a que la especificación no es correcta.

Por lo anterior, se pensó en checar la prueba con un procedimiento de desgaste que no estuviera en función de la gravedad y se programó realizar una prueba de impacto utilizando un pisón, en la que se encontrará el número de golpes con la que se obtuviera el mismo desgaste con materiales de calidad aceptable. Así, se programó realizar primero la prueba de "Los Angeles" a un material de basalto y dos de caliza y con los resultados, normalizar la prueba de impactos. Se programó que después de lo anterior se obtuviera el desgaste de varios materiales de baja densidad tanto en la máquina de "Los Angeles" como con el procedimiento utilizando el pisón; si el desgaste que se obtuviera con ambos procedimientos, fuera igual, la prueba de "Los Angeles" es aceptable sin importar la densidad pero entonces se requeriría modificar las normas para que sólo se utilicen materiales que conduzcan en la práctica a carpetas duraderas.

Con el objeto de conocer el desgaste, así como el comportamiento de algunos materiales pétreos, se llevó a cabo el muestreo de materiales de alta densidad como roca basáltica y roca caliza, también se muestrearon bancos de materiales de baja densidad como tezontle o escoria volcánica.

A continuación se numeran y presentan los bancos en estudio:

Banco No. 1 "TRIBASA"

Ubicación: Kilómetro 19 + 500 desviación derecha 300 metros, carretera  
México-Puebla.

Clasificación: Roca basáltica

Densidad: Alta

Color: Gris oscuro

Usos: Sub-base, base, carpeta, concreto hidráulico

Tratamientos: Triturado, cementado y cribado

Figura No. II-1



FIGURA No. II-1 "TRIBASA".

Banco No. 2 Trituradora "SAN CARLOS"  
Ubicación: Kilómetro 33 + 100, desviación izquierda 600 metros de la  
carretera Cuernavaca-Cuautla.  
Clasificación: Roca caliza.  
Densidad: Alta  
Color: Blanco  
Usos: Sub-base, base, carpeta y concreto hidráulico  
Tratamiento: Triturado, cementado y cribado.  
Figura No. II-2



FIGURA No. II-2 "SAN CARLOS".

Banco No. 3 Triturados "TEJALPA"

Ubicación: Kilómetro 13 + 900, desviación derecha 300 metros, de la ca  
rretera Cuernavaca-Cuautla.

Clasificación: Roca caliza

Densidad: Alta

Color: Gris claro, casi blanco.

Usos: Sub-base, base, carpeta, concreto hidráulico.

Tratamiento: Triturado, cementado y cribado.

Figura No. II-3.



FIGURA No. II-3 "TEJALPA".

Banco No. 4 "TETILLAS"

Ubicación: Kilómetro 16 + 200, desviación izquierda, 1300 metros de la carretera Cuernavaca-Cuautla.

Clasificación: Tezontle

Densidad: Baja.

Color: Negro.

Usos: Sub-base, base, carpeta

Tratamiento: Cribado y cementado.

Figura No. II-4.



FIGURA No. II-4 "TETILLAS".

Banco No. 5 "PEÑON VIEJO"

Ubicación: Kilómetro 13 + 500 desviación derecha, 100 metros carretera México-Puebla.

Clasificación: Tezontle.

Densidad: Baja

Color: Rojo

Usos: Sub-base, base, carpeta.

Tratamiento: Cribado y cementado.

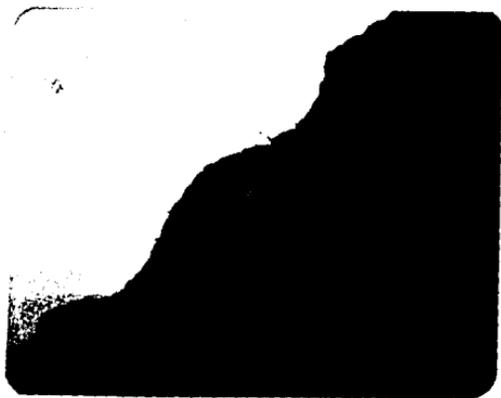


FIGURA No. II-5 "PEÑON VIEJO".

Banco No. 6	"TEZOYUCA"
Ubicación:	Kilómetro 13 + 150 desviación izquierda 288 metros de la carretera Cuernavaca-Iguala.
Clasificación:	Tezontle.
Densidad:	Baja.
Color:	Rojo.
Usos:	Sub-base, base, carpeta.
Tratamiento:	Cribado y cementado.



FIGURA No. II-6 "TEZOYUCA"

Banco No. 7	"SANTIAGUITO"
Ubicación:	Kilómetro 7 + 200 a la derecha sub-división, carretera Yauhtepec-Tepostlán.
Clasificación:	Tezontle.
Densidad:	Baja.
Color:	Negro, frente de ataque No. 1, rojo frente de ataque No. 2.
Usos:	Sub-base, base, carpeta.
Tratamiento:	Cribado, cementado.

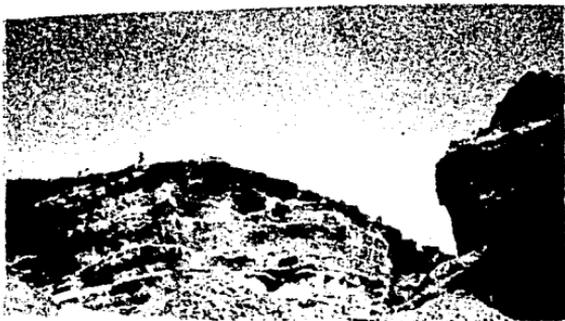


FIGURA No. II-1-A TEZONTLE NEGRO "SANTIAGUITO"



FIGURA No. II-7-B TEZONTLE ROJO "SANTIAGUITO"

Banco No. 8 "CERRITOS".

Ubicación: Kilómetro 15 + 000, desviación derecha 500 metros, carretera  
Morelia-Zamora.

Clasificación: Tezontle

Densidad: Baja

Color: Negro

Usos: Sub-base, base, carpeta

Tratamiento: Cribado, cementado



FIGURA No. II-8 "CERRITOS".

Banco No. 9 "EL TIGRE".

Ubicación: Kilómetro 32 + 200, desviación izquierda 2000 metros carretera Morelia-Zamora.

Clasificación: Tezontle.

Densidad: Baja

Color: Negro

Usos: Sub-base, base, carpeta.

Tratamiento: Cribado, cementado

Figura No. II-9



FIGURA No. II-9 "EL TIGRE".

Banco No. 10 "LA RINCONADA".

Ubicación: Kilómetro 6 + 100 desviación izquierda, 600 metros, carretera Zamora-La Barca.

Clasificación: Tezontle

Color: Café oscuro

Densidad: Baja

Usos: Sub-base, base, carpeta.

Tratamientos: Cribado y cementado.

Figura No. II-10.



FIGURA No. II-10 "LA RINCONADA".

Banco No. 11 "TZIN TZUN TZAN".

Ubicación: Kilómetro 11 + 000, desviación derecha 100 metros, carretera Quiroga-Pátzcuaro.

Clasificación: Tezontle

Densidad: Baja

Color: Gris oscuro.

Usos: Sub-base, base, carpeta

Tratamiento: cribado, cementado.

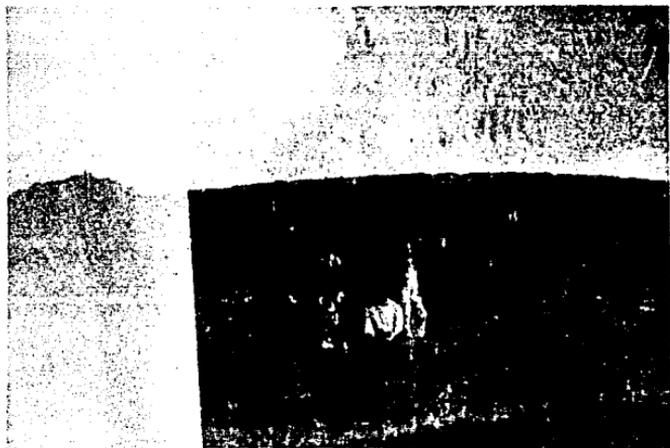


TABLA LI-1

Resumen de Resultados de los Encayos Practicados

No.	NOMBRE DEL BANCO	CLASIFICACION	COMPORTA MIENTO	DESGASTE LOS ANGELES	DENSIDAD RELATIVA DE SOLIDOS	DESGASTE CORREGIDO	PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO
1	TRIBASA	BASALTO	BUENO	16	2.85	15	1536
3	TEJALPA	CALIZA	REGULAR	22	2.85	20	1423
2	SN. CARLOS	CALIZA	REGULAR	23	2.50	24	1450
8	CERRITOS	TEZONTLE	REGULAR-MALO	26	2.22	31	1315
9	EL TIGRE	TEZONTLE	MALO	32	2.22	38	1180
11	TZIN TZUN TZAN	TEZONTLE	MALO	33	1.8	48	1240
5	PEÑON VIEJO	TEZONTLE	MALO	33.5	1.8	49	1120
4	TETILLAS	TEZONTLE	MALO	34	1.8	50	1092
7	SANTIAGUITO I	TEZONTLE	MALO	38.5	1.4	72	1013
10	LA RINCONADA	TEZONTLE	MALO	39	1.6	65	1122
7	SANTIAGUITO II	TEZONTLE	MALO	50.5	1.5	87	998
6	TEZOYUCA	TEZONTLE	MALO	61	1.3	134	752

En la práctica los ingenieros de caminos han advertido lo que ya se mencio nó, que hay materiales que pasan las especificaciones de desgaste de la má quina de "Los Angeles" pero que tienen un mal comportamiento en carpetas o en riegos de sello por lo que algunos laboratorios especializados castigan el resultado de desgaste obtenido de esta prueba en base a la densidad de sólidos como en el Estado de Puebla en donde usan la siguiente fórmula pa ra la corrección citada.

$$D_c = \frac{2.65}{S_s} D_{LA}$$

en donde:

$D_c$  = Desgaste corregido

$S_s$  = Densidad relativa de sólidos

$D_{LA}$  = Desgaste de la prueba "Los Angeles"

En la tabla II-1, se muestran los valores de  $S_s$  y  $D_c$  para cada material.

De acuerdo a estos datos y en forma rigurosa son aceptables sólo los tres primeros materiales de la lista para su uso en riego de sello pero se acep tarían también los materiales 4 y 5 para carpetas lo cual sobre todo pa ra el material 5 no es conveniente. Quizá para ser más congruente con el comportamiento de los materiales, en lugar de la constante 2.65 debería - utilizarse 2.85 o mejor cambiar los límites aceptables.

A los Bancos de materiales que aparecen en la Tabla II-1 se les practica - ron las pruebas de: Desgaste "Los Angeles", peso volumétrico seco suelto, peso específico de sólidos, siguiendo los procedimientos de prueba descri tos en el capítulo I.

Como puede observarse se ordenaron en función del desgaste quedando en pri mer lugar los pétreos que tienen un porcentaje de desgaste menor y peso vo lumétrico seco suelto, peso específico de sólidos mayor.

Los materiales calizos en general son adecuados para usarse en carpetas - pero son menos aceptables para su uso en riegos de sello porque tienen un desgaste tal, que se produce polvo que queda adherido a las partículas o - entre ellas, pero que en las zonas de llovizna fina se mezcla con el agua produciendo una sustancia viscosa muy peligrosa para el tránsito pues provoca fuertes derrapes. En zonas de aguaceros fuertes y poca llovizna el comportamiento es mejor.

De los tezontles, sólo algunos, los de más alto peso volumétrico pudieran ser aceptables para su uso en carpetas como el del banco "Los Cerritos" - pero la mayoría de ellos no son adecuados y menos para riegos de sello aun que en este caso apenas el banco mencionado ha sido aceptable.

Analizando los datos de la Tabla II-1 se observa lo siguiente:

- A.- De acuerdo a las especificaciones vigentes los cuatro primeros bancos se pudieran utilizar en riego de sello y para carpeta podrían utilizarse todos excepto los últimos dos, lo cual no es adecuado pues todos los tezontles excepto el primero de la lista no son adecuados para ello.
- B.- Si se modifica el desgaste "Los Angeles" utilizando la fórmula de la Unidad de Laboratorio SCT en Puebla, Pue. sólo podrán utilizarse los 3 primeros bancos en riego de sello y además el cuarto y el quinto para carpeta que ya se acerca más a la práctica.
- C.- El peso volumétrico seco y suelto de los cuatro primeros bancos es superior a  $1\ 300\ \text{Kg/m}^3$ .

CAPITULO III. COMPORTAMIENTO DE ALGUNOS TEZONTLES EN  
CARPETAS ASFALTICAS Y RIEGO DE SELLO.

La carpeta asfáltica es la capa superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento a los vehículos, y se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Fig. No. III-1.



FIGURA No. III-1 CARPETA ASFALTICA DE LA CARRETERA "MORELIA-ZAMORA".

Los materiales pétreos se clasifican en:

- a). Materiales naturales que requieren uno o varios tratamientos de; disgregación, cribado, trituración y cribado, y lavado.
- b). Mezclas de dos o más materiales del grupo anterior.

Los materiales pétreos para carpetas asfálticas, elaboradas por los sistemas de mezcla en el lugar y en planta estacionaria, deberán satisfacer las siguientes normas:

A). DE GRANULOMETRÍA:

1. La curva granulométrica del material pétreo para mezclas asfálticas en el lugar, deberá cumplir con lo que indique el proyecto y en términos generales, deberá quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el límite superior de la zona 2 de la figura No. III-2. La zona 1 corresponde a materiales pétreos de granulometría gruesa, y la zona 2 a los materiales pétreos de granulometría fina.

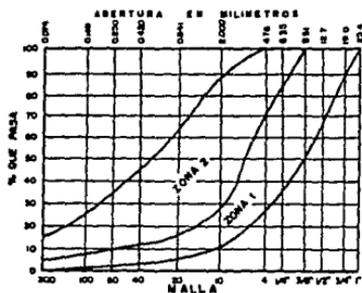


FIGURA No. III-2. Zonas de especificaciones granulométricas para materia les pétreos que se empleen en mezclas asfálticas en el lugar.

La curva granulométrica del material pétreo, deberá efectuar una forma semejante a la de las curvas que limitan las zonas, por lo menos en las dos terceras partes de su longitud, sin presentar cambios bruscos de pendiente.

- La curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos, en términos generales deberá quedar comprendida en la zona limitada por las dos curvas de la figura No. III-3. En cada caso el proyecto señalará la granulometría correspondiente, de acuerdo con los requisitos fijados en el diseño de la mezcla. La granulometría del material cumple con los requisitos de proyectos, si está dentro de las tolerancias de la Fig. No. III-4.

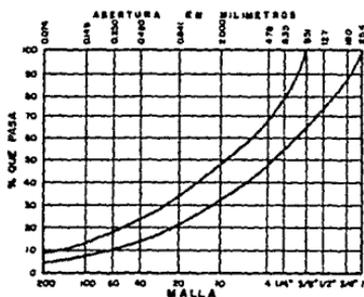


FIGURA No. III-3 Zona de especificación granulométrica para materiales pétreos que se emplean en concretos asfálticos.

TAMANO DEL MATERIAL PETREO		TOLERANCIA, POR CIENTO EN PESO DEL MATERIAL PETREO
MALLA QUE PASA	RETENIDO EN MALLA	
Correspondiente al tamaño máximo	4.75 mm (Núm. 4)	± 5
4.75 mm (Núm. 4)	2.00 mm (Núm. 10)	± 4
2.00 mm (Núm. 10)	0.420 mm (Núm. 40)	± 3
0.420 mm (Núm. 40)	0.074 mm (Núm. 200)	± 1
0.074 mm (Núm. 200)		± 1

FIGURA No. III-4 Tolerancias permitidas para la curva granulométrica del material pétreo para concretos asfálticos.

b). DE CONTRACCION LINEAL:

1. Cuando la curva granulométrica del material pétreo para mezcla en el lugar, quede ubicada en la zona 1, de la Figura No. III-2:
2. Cuando la curva granulométrica del material pétreo para mezcla en el lugar, quede ubicada en la zona 2, de la Figura No. III-2: 2% máximo.
3. Material pétreo para concretos asfálticos: 2% máximo.

c). DE DUREZA:

En la máquina de Los Angeles, para cualquier tipo de material pétreo de acuerdo al método de prueba descrito en la capítulo I: 40% máximo.

d). DE FORMA DE LAS PARTICULAS:

Partículas alargadas y/o en forma de laja; 35% máximo.

e). DE AFINIDAD CON EL ASFALTO...

f). EQUIVALENTE DE ARENA...: 55% mínimo.

Los materiales pétreos para carpeta asfáltica por el sistema de riegos - (tratamientos superficiales) y para riegos de sello, deberán satisfacer - los siguientes requisitos:

a). DE GRANULOMETRIA, SEGUN ESPECIFICACIONES DE LA FIG. III-5.

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA									
	37.5 mm (1 1/2")	75.0 mm (3")	150.0 mm (6")	300.0 mm (12")	600.0 mm (24")	1.18 mm (No. 150)	2.5 mm (No. 60)	4.75 mm (No. 40)	7.5 mm (No. 20)	15.0 mm (No. 10)
1	100	95 MÍN.								
2			100							
3-A				95 MÍN.						
3-B				100	95 MÍN.				5 MÍN.	0
3-C				100	95 MÍN.	95 MÍN.		5 MÍN.	0	0

FIGURA No. III-5 ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEEN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO.

- b). DE DESGASTE LOS ANGELES, 30% MAXIMO.
- c). DE INTERPERISMO ACELERADO, 12% MAXIMO.
- d). DE FORMA DE LAS PARTICULAS ALARGADAS, 35% MAXIMO.

Como puede observarse los materiales pétreos deben cumplir con una serie de características para que sean funcionales en la obra.

En la red carretera se observa una buena longitud en la que las carpeta - asfálticas se han comportado en forma aceptable pero se tienen carpeta - que presentan diferentes problemas que se pueden considerar como fallas; así, se tienen desgranamientos, grietas, llorados, corrimientos, arriñonamientos, etc. Algunas de las cuales se deben a la baja resistencia de los pétreos, principalmente el llorado en los riegos de sello y el desgranamiento y fuerte calavereo de las carpeta que se presentan al triturarse el -

material pétreo quedando en el primer caso los finos embebidos en el riego de asfalto quedando resbalosa la superficie, quizá en un mayor grado de lo que se trata de corregir y lo cual muchas veces se presenta a las pocas semanas de haber proporcionado el riego de sello con el consiguiente peligro para el tránsito. En el segundo caso, las carpetas se desintegran al romperse y desgranarse las partículas ya que el contenido de asfalto no es suficiente para cubrir el área de las partículas rotas y por lo tanto quedan sin la cohesión que proporciona el asfalto.

En seguida se describen algunos tramos en los que se han utilizado materiales de baja densidad y han fallado:

Camino Puebla-Huachuinango Fig. No. III-6, carpeta elaborada con tezontle negro, procedente del banco Michac Fig. No. III-7 ubicado en el kilómetro 56 + 500, desviación izquierda 8,100 metros del camino Puebla-Huachuinango, con un desgaste del 29.1%, y demás requisitos dentro de lo permisible de las especificaciones, sin embargo; según información recabada esta carpeta tuvo una duración aproximada de tres meses, tiempo que sólo representa una fracción de la vida útil de la obra.



FIGURA No. III-6 CAMINO PUEBLA-HUAUCHINANGO QUE PRESENTA BACHES.

Obsérvese que en algunas partes de ésta se presenta la desintegración de la carpeta, el material pétreo usado es deleznable por lo que el asfalto es insuficiente al disgregarse el pétreo y presentar una superficie de exposición o de contacto mayor con relación a la que fue calculada inicialmente.



FIGURA No. III-7 BANCO DE TEZONTLE (MICHAC).

Carretera Toluca-Morelia (Fig. No. III-8) carpeta elaborada con tezontle rojo, a cuatro meses de estar en servicio se presentan lloramientos longitudinales debidas al rodamiento en zonas de mayor incidencia, y en este caso - concreto, se presenta por la fuerza de tracción de los vehículos en el tramo de subida, ya no es funcional por la falta de adherencia entre los neumáticos y la superficie asfáltica.



FIG. No. III-8 CARRETERA TOLUCA-MORELIA

Carretera Morelia-Pátzcuaro.- Material pétreo usado: Tezontle negro, que a cinco meses de uso, presenta roderas prematuras en ambos carriles (Fig. No. III-8) si el material pétreo es deleznable se rompe reduciendo el volumen de pétreos del proyecto original dando lugar a una cantidad mayor de asfalto que produce una superficie lisa, y por lo tanto peligrosa.

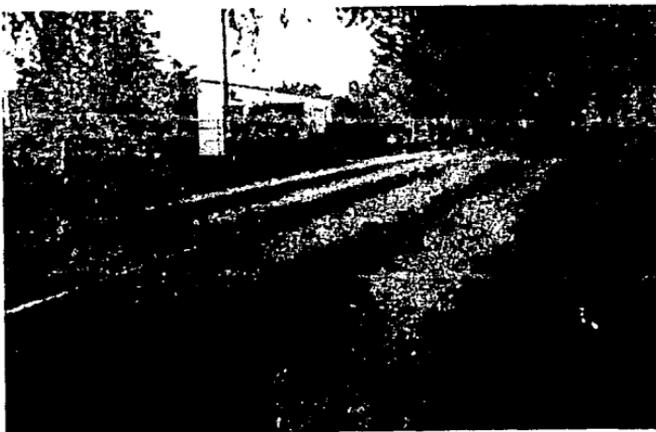


FIG. No. III-9 CARRETERA MORELIA-PATZCUARO, SUPERFICIE LISA.

Carretera Cuernavaca-Iguala Fig. No. III-10, carpeta asfáltica elaborada con tezontle negro que a corto plazo presenta calavereo y alisamiento de la carpeta, el primero porque se coloca una carpeta sobre otra ya agrietada y calavereada, la falla se vuelve a presentar sobre las mismas fallas anteriores, el otro debido al fácil rompimiento de los pétreos un agente físico como el aire los vuela y el asfalto aflora en la superficie.



FIGURA No. III-10 SUPERFICIE LISA Y CALAVEREO.

Es de considerable importancia hacer una revaloración del rango de aceptación en lo que se refiere a DUREZA de los materiales pétreos, la práctica y la experiencia demuestran que los valores que se están usando de porcentajes de desgaste, deben ser reducidos para así clasificar los materiales que verdaderamente nos sean útiles y no ocasionen una mayor inversión para darles mantenimiento a las carpetas elaboradas con materiales que cumplen las normas pero que deben ser rechazados por la experiencia.

CAPITULO IV. OBTENCION DE UNA PRUEBA DE IMPACTOS PARA TENER EL MISMO  
DESGASTE QUE EN LA MAQUINA LOS ANGELES EN MATERIALES DE  
ALTA DENSIDAD Y APLICABLE A MATERIALES DE BAJA DENSIDAD.

OBTENCION DE LA PRUEBA.

Haciendo un análisis de la prueba de desgaste, mediante la máquina "Los Angeles", que es la que generalmente se utiliza para evaluar el desgaste de los materiales pétreos, observamos que su ejecución está integrada de un número considerable de factores de los cuales depende el resultado.

La máquina debe cumplir con todas sus características de diseño como: dimensiones interiores del cilindro, los pivotes donde va montado el cilindro no deben penetrar en el interior, las bases donde va montado deben ser rígidas, el material de que se elabora éste, la capacidad del motor que produce el movimiento, las revoluciones a que debe girar el cilindro, etc., especificaciones imprescindibles para la obtención correcta del desgaste.

Con el propósito de obtener una prueba que nos indique el desgaste del material pétreo, sin depender del equipo antes citado y que no esté en función de la gravedad, e inspirados en la prueba PROCTOR, hicimos uso del equipo - requerido para ésta y se partió de las siguientes suposiciones:

En la máquina Los Angeles, se presenta la abrasión entre las esferas y el material pétreo, cuando ésta gira a una velocidad de 33 revoluciones por minuto, generando impactos en el material y las esferas, que caen desde una - altura igual al diámetro del cilindro.

Reproduciendo este proceso, se sustituye la carga abrasiva por un pisón, y para obtener la altura de caída, se coloca una guía metálica, entonces con un número "x" de golpes de una altura determinada sobre el material en estudio, se presenta la abrasión.

En la tabla 1 "Características de la muestra de prueba y carga abrasiva" - del capítulo I, se eligió la muestra de tipo "B", que tiene un peso total de la muestra de cinco mil (5000) gramos, de los cuales dos mil quinientos (2500) gramos pasan la malla de 19.0 mm., y se retienen en la malla 12.5 mm., los otros dos mil quinientos (2500) gramos pasan la malla de 12.5 mm., y se retienen en la de 9.5 mm., la carga abrasiva de once (11) esferas es de 4584 gramos + 25 gramos; el número de revoluciones de la máquina es de 500 para este tipo de material, y es así como se produjo el desgaste del material pétreo (Basalto, del banco Número 1).

En el primer intento se propuso el siguiente equipo:

Utilizando material del banco "TRIBASA".

Peso del pisón	2.5 K
Altura de caída	30.5 cm.
Diámetro del molde	15.24 cm.

En base a que el volumen del molde es inferior al volumen que se tiene con cinco mil (5000) gramos del espécimen para desgaste Los Angeles, utilizamos mil (1000) gramos, quinientos (500) que pasaron la malla de 19.0 mm. y se - retuvieron en la de 12.5 mm., quinientos (500) que pasaron la malla de - - 12.5 mm. y se retuvieron en la de 9.5 mm.

Se elaboró una gráfica en la que, la ordenada representa el número de golpes, y la abscisa el porcentaje de desgaste.

Al espécimen de mil (1000) gramos se le aplicaron 100 golpes, y se cribó en la malla de 1.7 mm., se pesó el retenido en ésta y se registró un peso como  $W_f$ , se calculó el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde:

D Desgaste del material pétreo en porciento.  
Wi Peso inicial del espécimen en gramos.  
Wf Peso final del espécimen en gramos.

Sustituyendo:

$$D = \frac{1000-960}{1000} \times 100 = 4\%$$

Con este primer porcentaje se dibujó el primer punto en la gráfica con número de golpes = 100, desgaste = 4 (ordenada y abscisa respectivamente), posteriormente se vierte en el molde el material que paso la malla de 1.7 mm. y el que se retuvo en esta, mezclándolo con una espátula para homogeneizar la muestra.

A este mismo espécimen se la aplicaron nuevamente 100 golpes repitiendo el proceso anterior hasta un total de 500 golpes que fueron los que generaron el desgaste que se obtuvo en la máquina Los Angeles, véase la siguiente gráfica Fig. No. IV-1.

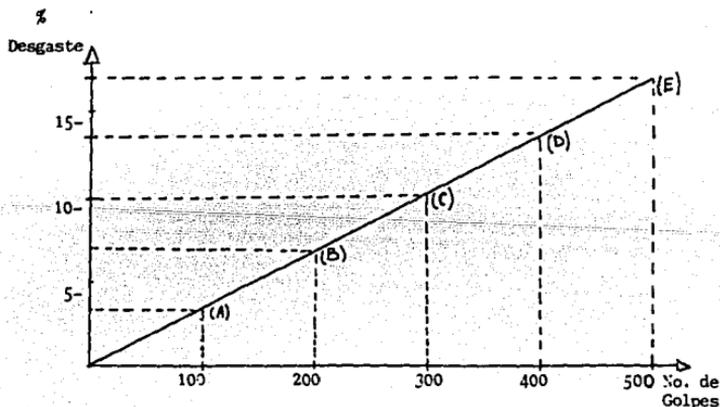


FIGURA No. IV-1 GRAFICA QUE REPRESENTA EL % DE DESGASTE CONTRA No. DE GÓLPES

El desgaste producido en el material con este equipo y con un número de 500 golpes, es el mismo que el que se obtiene con 500 vueltas en la máquina Los Angeles; sin embargo, en la práctica, representaría para los técnicos que ejecutan las pruebas, un trabajo que les produciría gran fatiga y a lo largo de su jornada, mayor cansancio del normal.

Con la finalidad de reducir el número de golpes se repitió el proceso, disminuyendo el material pétreo.

En este segundo intento se cribaron y pesaron doscientos cincuenta (250)grs. de material pétreo que pasó la malla de 19.0 mm. y se retuvo en la de 12.5mm doscientos cincuenta (250) gramos de material que pasó la malla de 12.5mm. y se retuvo en la de 9.5 mm., se utilizó el mismo pisón y molde.

Efectuando la prueba dinámica por impactos y siguiendo el procedimiento anterior se obtuvo la siguiente gráfica:

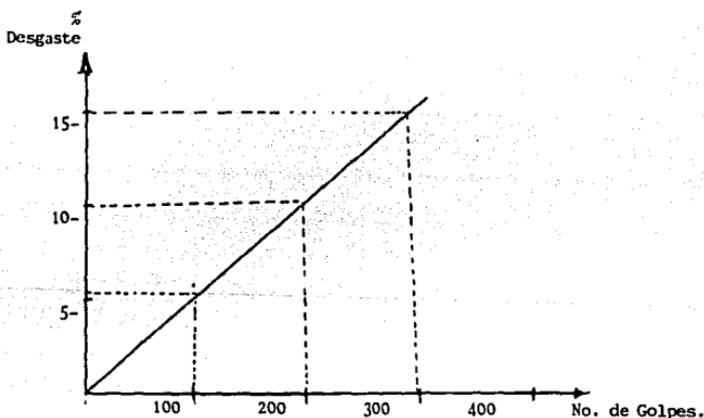


FIGURA No. IV-2 GRAFICA QUE REPRESENTA EL PORCENTAJE DE DESGASTE CONTRA NUMERO DE GOLPES AHORA DISMINUYENDO LA CANTIDAD DE MATERIAL PETREO CON RESPECTO A LA PRIMERA PROPOSICION.

Como el número de golpes necesarios para obtener el desgaste que queremos es mayor de 300, modificamos el peso del pisón y la altura de caída de éste, se sustituyó el peso de 2.5 K. por 4.54 K. y la altura de 30.5 cm. por 45.7 c., el molde fue el mismo con diámetro de 15.24 cm. el peso de la muestra no cambió y fue de quinientos (500) gramos.

Se llevó a cabo la prueba siguiendo el procedimiento antes mencionado para la primera y segunda proposición y se llegó a los resultados que muestra - la gráfica de la Fig. No. 14-3

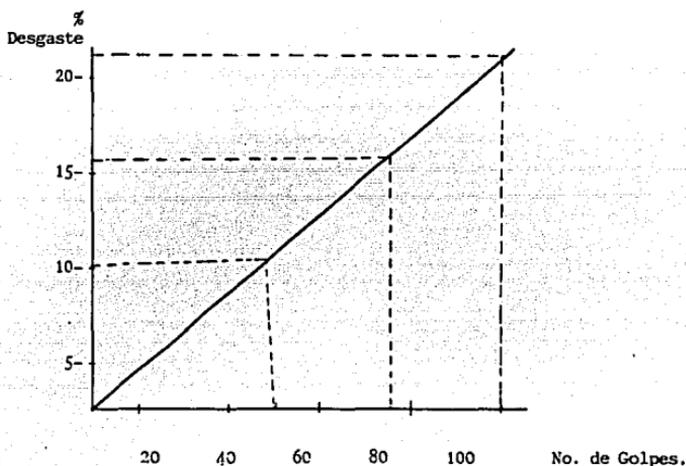


FIGURA No. IV-3 GRAFICA QUE REPRESENTA EL PORCENTAJE DE DESGASTE CONTRA EL NUMERO DE GOLPES EN EL TERCER INTENTO PARA LA OBTENCION DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR IMPACTOS.

En este tercer intento se observó que se necesitaron menos golpes que en los primeros para obtener el desgaste que se obtuvo en la máquina Los angeles, véase que para 75 golpes el desgaste es del 16 % mismo que se buscaba.

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

En virtud de que el equipo que se requiere para efectuar esta prueba está disponible en cualquier laboratorio de pavimentos, de que el material pétreo que se requiere es representativo de acuerdo al muestreo, de que el tiempo de ejecución es razonable, y el costo de la prueba resultaría abajo de la cuarta parte del costo de la prueba en la máquina Los Angeles, se procedió a detallar el procedimiento de prueba.

### PRUEBA DE DESGASTE POR IMPACTOS.

Esta prueba tiene por objeto conocer el desgaste de los materiales pétreos que se utilizan en la construcción de mezclas asfálticas, carpetas por el sistema de riegos, y riegos de sello; para evaluar su grado de alteración, su resistencia, etc., la prueba consiste en someter la muestra del material pétreo a un número determinado de golpes con un pisón de peso definido y altura de caída constante, siendo éste el mecanismo que genera el desgaste del material.

El equipo necesario para llevar a cabo esta prueba es el siguiente:

- Molde metálico con diámetro de quince punto veinticuatro (15.24) centímetros, con base metálica.
- Pisón metálico cuyo peso sea de cuatro punto cincuenta y cuatro (4.54) gr con guía que proporcione una altura de caída de cuarenta y cinco punto siete (45.7) centímetros.
- Mallas de 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5, 6.3, 4.75, 2.36 1.70 mm de abertura.
- Horno con termostato que mantenga la temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados ( $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ).
- Balanza con capacidad de veinte (20) kilogramos y aproximación de un (1) gramo.
- Charolas de lámina rectangulares.

La preparación de la muestra se efectúa de la forma siguiente:

- A). De una muestra del material en estudio se pesan veinte (20) kilogramos, cantidad generalmente utilizada como muestra representativa.
- B). Se determina el peso específico o volumétrico del material seco y suelto  $\gamma_d$ , así como la composición granulométrica de la muestra representativa de veinte kilogramos.
- C). Después de efectuar los ensayos anteriores se criba la muestra por la malla de 1.7 mm, y se lavan sobre dicha malla las partículas retenidas, en caso de encontrarse limpias no se hace el lavado.
- D). Se seca en el horno la fracción retenida en la malla de 1.7 mm, a una temperatura de ciento cinco más menos cinco grados centígrados - - - ( $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ) hasta obtener peso constante.
- E). Se selecciona en la tabla de la Fig. IV-4 el tipo de muestra en función de la granulometría de proyecto; de la granulometría que corresponda al material de acuerdo con el uso que se le pretenda dar, o bien la de la muestra original.
- F). Una vez determinado el tipo de muestra se criban las cantidades necesarias por las mallas correspondientes, se pesan, se mezclan y se forma la muestra de prueba registrando su peso total como  $W_i$ , en gramos.

La prueba se efectúa como sigue:

- 1) Se coloca el material pétreo en el molde metálico.
- 2) Se aplican 100 golpes con el pisón metálico, repartido en el área del molde, procurando una distribución uniforme de golpes sobre el material, para pétreos de tipo B.
- 3) Se saca la muestra del molde y se criba en la malla de 1.7 mm, se pesa - el retenido en la malla y se registra su peso como  $W_f$  en gramos.

Se calcula el porcentaje de desgaste con la fórmula siguiente:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

En donde:

- D = Es el desgaste del material pétreo en por ciento  
 W<sub>i</sub> = Es el peso inicial de la muestra en gramos.  
 W<sub>f</sub> = Es el peso final de la muestra de prueba en gramos.

Al efectuarse esta prueba debe tener en cuenta lo siguiente:

- Que el molde se coloca en una superficie firme y resistente.
- Evitar pérdidas de material durante la aplicación de los golpes o el cribado.
- Verificar que la muestra de prueba tenga la granulometría especificada.

#### T A B L A I

TAMAÑO DE LA MALLA EN mm. PESO DE LA MUESTRA EN GRAMOS

PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
37.5	25.0	125					500	500
25.0	19.0	125						500
19.0	12.5	125	250					
12.5	9.5		250					
9.5	6.3			250				
6.3	4.75			250				
4.75	2.36				500			
75.0	63.0					250		
63.0	50.0					250		
60.0	37.5					500	500	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		500	500	500	500	1000	1000	1000

FIGURA No. IV-4 APLICACION DE LA PRUEBA DE DESGASTE POR IMPACTO A MATERIALES DELEZNABLES.

A partir de que se determinó la prueba de desgaste por impactos de pisón, - tomando como base un material pétreo de alta densidad, con la finalidad de comprobar lo que se mencionó anteriormente respecto a que los materiales de baja densidad probablemente caen después que la carga abrasiva, motivo por el que se cree que el porcentaje de desgaste es menor al no producirse el - desgaste por impacto de la carga abrasiva, sino solamente por fricción en - la prueba Los Angeles.

En la prueba de desgaste por impactos no existe esta diferencia entre los - materiales de alta y baja densidad, puesto que el material pétreo permanece en el molde y el que cae es el pisón.

Para cuantificar el resultado de la prueba de desgaste en la máquina Los Angeles respecto a la prueba de desgaste por impactos con pisón en materiales de alta y baja densidad se llevaron a cabo las pruebas respectivas a los ma - teriales de los bancos citados en el capítulo II.

Se efectuó una prueba de desgaste en la máquina Los Angeles como está des - crita en el capítulo I, y la prueba de desgaste por impactos de pisón se - llevó a cabo tres veces por muestra, para contar con un mayor número de da - tos y los resultados obtenidos fueron los que aparecen en la tabla de la - Fig. No. IV-5

No.	NOMBRE DEL BANCO D.L.A.&		DESGASTE POR IMPACTOS PARA EL NUMERO DE GOLFES QUE SE ESPECIFICA. &&									
			50	75	100	60	80	100	60	80	100	
1	TRIBASA	16	10	16	22	12	16	22	12	16	22	
2	TEJALPA	22	12	18	24	16	22	26	18	24	28	
3	SAN CARLOS	23	12	18	26	15	20	26	16	20	26	
4	CERRITOS	26	10	16	24	14	20	24	16	20	24	
5	EL TIGRE	32	18	26	32	24	28	34	18	26	32	
6	TZIN TZUN TZAN	33	14	22	28	20	26	32	20	26	32	
7	PEÑON VIEJO	33.5	19	25	32	20	26	32	20	26	32	
8	TETILLAS	34	20	28	38	24	30	38	25	31	38	
9	SANTIAGUITO I	38.5	26	36	44	30	42	48	30	42	46	
10	LA RINCONADA	39	18	26	34	20	26	34	26	32	38	
11	SANTIAGUITO	50.5	32	42	50	36	44	48	36	44	50	
12	TEZOYUCA	61	38	50	60	52	56	62	52	56	62	

FIGURA No. IV-5 TABLA QUE MUESTRA LA VARIACION DEL DESGASTE POR IMPACTOS EN FUNCION DE EL NUMERO DE GOLFES.

- & Desgaste "Los Angeles" en por ciento.
- && Desgaste por impactos de pisón en por ciento.

La tabla de la Fig. No. IV-5 que se tiene a continuación muestra los resultados obtenidos en todos los bancos.

BANCO No.	D.L.A. *	DESGASTE 80	POR PISON 90	(Dp) 100	% Dcp %	PESO VOLUMEN SUELTO Kg/m <sup>3</sup>
1	16	16 <sup>0</sup>	19 <sup>3</sup>	22 <sup>6</sup>	22	1536
3	22	22 <sup>0</sup>	24 <sup>2</sup>	26 <sup>4</sup>	26	1423
2	23	20 <sup>-3</sup>	23 <sup>0</sup>	26 <sup>3</sup>	29.6	1450
8	26	22 <sup>-6</sup>	22 <sup>-4</sup>	24 <sup>-2</sup>	30.8	1315
9	32	27 <sup>-5</sup>	30 <sup>-2</sup>	32 <sup>0</sup>	41	1180
11	33	26 <sup>-7</sup>	28 <sup>-5</sup>	32 <sup>-1</sup>	50.6	1240
5	33.5	26 <sup>-7.5</sup>	29 <sup>-4.5</sup>	32 <sup>-1.5</sup>	50.6	1120
4	34	30 <sup>-4</sup>	34 <sup>0</sup>	38 <sup>+4</sup>	60.2	1092
7	38.5	40 <sup>-1.5</sup>	43 <sup>-4.5</sup>	46 <sup>+7.5</sup>	93.0	1013
10	39	28 <sup>-9</sup>	31 <sup>-8</sup>	34 <sup>-5</sup>	60.1	1122
7	50.5	44 <sup>-5.5</sup>	47 <sup>-2.5</sup>	50 <sup>-0.5</sup>	95.0	998
6	61	56 <sup>-5</sup>	59 <sup>-2</sup>	62 <sup>-1</sup>	135.0	752

$$\begin{aligned} \bar{X}dif. &= 4.46 & \bar{X}dif. &= 1.54 & \bar{X}dif. &= 1.13 \\ \bar{V}dif. &= 2.76 & \bar{V}dif. &= 3.47 & \bar{V}dif. &= 3.65 \end{aligned}$$

FIGURA No. IV-5 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACION.

**N O T A:** Los números colocados en la parte superior de los casilleros correspondientes al desgaste por pisón, corresponden a la diferencia con el desgaste de Los Angeles correspondiente.

° Desgaste "Los Angeles".

\*° Desgaste obtenido utilizando el pisón con 100 impactos y corregido con la fórmula  $D_{cp} = \frac{2.85}{S_s} D_p$

De acuerdo a los datos obtenidos y reportados en la Fig. No. IV-5, con 90 y 100 golpes de pisón se obtienen valores semejantes a los de la prueba de "Los Angeles" sobre todo con la de 100 golpes en donde la medida de las diferencias es apenas de 1.13% y desviación estandar de 3.65

Con lo anterior, se puede tener una primera conclusión de que la prueba de Los Angeles es aplicable a cualquier tipo de material y que si hay materiales que tienen un mal comportamiento en las obras se debe a que se han aceptado por una especificación muy poco rígida.

Por lo anterior, se puede llegar a la segunda conclusión de que debe modificarse la especificación para la aceptación de materiales que se usen en riego de sello y carpetas cambiando el primero de 30% a 25% y para los segundos de 40% a 30%.

De otra forma, se debería corregir el resultado de la prueba de "Los Angeles" o el de pisón con 100 golpes con la fórmula.

$$D_c = \frac{2.85}{S_s} D$$

en la que:

D<sub>c</sub> = Desgaste corregido.

S<sub>s</sub> = Densidad relativa de sólidos.

D = Desgaste "Los Angeles" o de pisón 100 golpes.

La tercera conclusión es que los materiales usados en riego de sello o carpetas asfálticas deberán tener un peso volumétrico suelto mayor a  $1300\text{Kg/m}^3$ .

CAPITULO V. CONCLUSIONES

- 1° En la práctica de la construcción de carpetas asfálticas y riegos de sello, se han utilizado materiales que de acuerdo a las normas vigentes cumplen con la correspondiente a desgaste en la prueba de "Los Angeles" pero que su comportamiento real es inadecuado.
- 2° Los materiales mencionados anteriormente son los que tienen su peso volumétrico suelto menor a  $1300 \text{ Kg/m}^3$ .
- 3° En la Unidad de Servicios Técnicos de la S.C.T. en Puebla, Pue., se corrige el desgaste obtenido de la prueba de "Los Angeles" para que el dato que se obtenga esté más acorde con el comportamiento de los materiales en la obra; para la corrección se utiliza la siguiente fórmula:

$$D_c = \frac{2.65}{S_s} D$$

en la que:

- $D_c$  = Desgaste corregido  
 $S_s$  = Densidad relativa de sólidos.  
 $D$  = Desgaste de la prueba.

De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio la corrección se debe hacer con la siguiente fórmula:

$$D_c = \frac{2.85}{S_s} D$$

- 4° De acuerdo a los resultados de esta investigación el desgaste que se obtiene con la prueba de "Los Angeles" también se obtiene en forma - muy aproximada con la prueba de desgaste dinámica por medio de pisón dando 100 golpes, de acuerdo al procedimiento que se detalla.

Debido a que por medio de la prueba utilizando el pisón no se requiere de equipo especial, de que la prueba es más rápida y no causa molestias de ruido se concluye que la prueba de "Los Angeles" se debe sustituir por la dinámica con pisón de 100 golpes.

- 5° Con el fin de no requerirse ninguna corrección a los resultados de - la prueba de desgaste ya sea la de pisón o la de "Los Angeles" para que los materiales que se usen en carpetas asfálticas y en riegos de sello sean los adecuados, se deben cambiar las normas correspondientes en la siguiente forma:

USO	NORMA ACTUAL	NORMA MODIFICADA
RIEGO POR SELLO	30%	25%
CARPETA ASFALTICA	40%	30%

" B I B L I O G R A F I A "

INSTRUCTIVO PARA EFECTUAR PRUEBAS EN MATERIALES DE PAVIMENTACION  
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS  
DEPARTAMENTO DE LABORATORIOS, OFICINA DE ESTUDIOS Y ASESORIA  
S.C.T.

ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES  
ING. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE  
CECSA-1986

NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES  
CAPITULO IV  
S.C.T.