

ISSN 0188-7114



MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS

Alfonso Rico Rodríguez
Juan Manuel Orozco y Orozco
Rodolfo Téllez Gutiérrez
Alfredo Pérez García

Documento Técnico No. 1
Sanfandila, Qro, 1990

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**MANUAL DE CALIDAD DE LOS
MATERIALES EN SECCIONES
ESTRUCTURALES DE
PAVIMENTOS CARRETEROS**

Alfonso Rico Rodríguez
Juan Manuel Orozco y Orozco
Rodolfo Téllez Gutiérrez
Alfredo Pérez García

**Documento Técnico No. 1
Sanfandila, Qro, 1990**

MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS

PRÓLOGO

El manual para la calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros aquí descrito, pretende auxiliar a los ingenieros responsables de proyecto, construcción y conservación de las carreteras, para utilizar mejores calidades de material en las capas que forman la sección estructural de pavimentos flexibles, de tal manera que puedan soportar con un comportamiento adecuado y una mínima conservación, a lo largo de la vida útil, las cargas transmitidas y los volúmenes de tránsito que actualmente circulan en las carreteras mexicanas, sobre todo en la red federal troncal, así como en los nuevos proyectos de modernización de autopistas.

El manual en cuestión es un criterio y una propuesta del Instituto Mexicano del Transporte de cómo deben ser la calidad del material y los espesores de las capas que constituyen la sección estructural, para el mejoramiento de la calidad del servicio en las vías terrestres que construye y opera el Sector.

Este trabajo fué realizado en la Coordinación de Infraestructura participando directamente los Ingenieros Alfonso Rico Rodríguez, Juan Manuel Orozco y Orozco, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Alfredo Pérez García.

**MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES
ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS.**

Í N D I C E

	PAG.
I. Introducción	1
II. Concepción del Manual	3
III. Tablas Resúmenes de Valores Recomendables	6
IV. Estrategias de Conservación con el Tiempo	14
V. Comentarios	15
Bibliografía	17
Anexo: Curvas Granulométricas	19

I INTRODUCCIÓN

Es indiscutible el enorme valor que las "Especificaciones Generales de Construcción", editadas por la SCOP a finales de la década de los cincuentas, tuvo para la tecnología de carreteras en el país.

En ese documento se reunió la experiencia dispersa de muchos ingenieros y se dió homogeneidad a las acciones en el campo de la infraestructura para el transporte. También, dieron carácter, personalidad y estilo a la institución que las utilizó.

Reconocido lo anterior, también ha de reconocerse que han transcurrido más de cuarenta años, en los que la experiencia se ha acumulado y es necesario reflejarla en la actividad actual.

Para la revisión que se propone, parece oportuno juzgar la estructura conceptual misma de las normas en uso en esta Secretaría. Por lo que a materiales para la sección estructural de Carreteras, Aeropuertos y Ferrocarriles se refiere, parece evidente que el establecimiento de los valores mínimos en algunos parámetros, con el propósito de garantizar un buen comportamiento de la estructura, no responde a los requerimientos actuales y constriñe la actuación de los proyectistas, generando en ellos una confianza excesiva que alienta poco el uso de valores diferentes a los especificados en las normas, pero que pudieran ser necesarios en muchos proyectos.

Por otra parte, una utilización rígida de las normas actuales desalienta los proyectos especiales "ad hoc" para cada circunstancia, pudiéndose afirmar que en este aspecto ha generado atraso tecnológico. Adicionalmente, coloca en situación muy vulnerable a todos aquellos profesionales que, con un mejor conocimiento del comportamiento de materiales, proponen diseños fuera de los valores establecidos en las normas. Esta posición, muchas veces deseable es desalentada por el ejercicio de una supervisión o revisión, inclusive extraña a la propia Secretaría, que se apoya indiscriminadamente en las normas, con clara falta de un criterio técnico sano.

Con apoyo de las ideas atrás expuestas, se propone separar claramente aquellos parámetros, valores y procedimientos que, como consecuencia de su aplicación universal, deban considerarse como normas, de los valores específicos que en cada caso adopte el proyectista y que, por lo tanto, deban considerarse como especificaciones, particulares en cada proyecto.

Para aún así conservar homogeneidad en los proyectos, se ha preparado este "Manual de Materiales" con indicaciones fuera de las normas de observancia obligatoria, con el propósito de orientar al proyectista y conservar el estilo de la institución.

II CONCEPCIÓN DEL MANUAL

A) El presente manual se ha concebido en los siguientes términos con respecto a los materiales de las siguientes capas:

Cuerpo del terraplén,
Subrasante,
Sub-base,
Base y
Carpeta Asfáltica,

en la inteligencia que se acepta una distribución diferente a criterio del proyectista.

B) Desde el punto de vista de utilización de materiales para la sección estructural de carreteras, se hace necesario definir la obra por ejecutar según cinco tipos de Obras Viales:

1) Obras Viales Especiales

Son carreteras de muy alta ocupación, como autopistas y carreteras urbanas o sub-urbanas en grandes ciudades (accesos a la Cd. de México, Guadalajara, Monterrey, etc) .Sobre ellas se tienen actualmente volúmenes del orden de 20 000 vehículos de tránsito diario promedio anual (TDPA) o más, con porcentaje de vehículos pesados de hasta el 40 %.

2) Obras Viales Tipo I

Son las carreteras que por su importancia requieran de una capa de rodamiento de concreto asfáltico o hidráulico, desde un principio.

Se considera que deberán incluirse en este tipo los caminos cuyo tránsito, medido a través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulado en un periodo de vida útil de 10 años, esté comprendido entre 10 millones y 50 millones (10^7 y 5×10^7). Este tránsito acumulado, equivale aproximadamente de 2 500 a 10 000 vehículos de TDPA en ambos sentidos, en las condiciones de carga y distribución de tránsito actuales.

3) Obras Viales tipo II

Son las carreteras que inicialmente requieren una superficie de rodamiento que no incluye concreto asfáltico en planta o hidráulico, pero para las que se prevé un gran desarrollo dentro de su vida útil, de manera que en un futuro relativamente próximo requerirán una capa de rodamiento de concreto asfáltico o hidráulico.

Se considera que deberán incluirse en este tipo los caminos cuyo tránsito, medido a través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados en un periodo de vida útil de 10 años, esté comprendido entre 1 millón y 10 millones (10^6 y 10^7). Este tránsito acumulado equivale aproximadamente de 500 a 2 500 vehículos de TDPA en ambos sentidos, en las condiciones de carga y distribución de tránsito actuales.

4) Obras Viales tipo III

Son las carreteras para las que se prevé que a todo lo largo de su vida útil contemplable podrán operar con un tratamiento asfáltico superficial o carpetas a base de riegos.

5) Obras Viales tipo IV

Son las carreteras de servicio para las que se prevé que podrán operar durante su vida útil con un revestimiento superficial.

OBRAS VIALES	TDPA	RED
ESPECIALES	> 20 000	AUTOPISTAS y SUB-URBANAS
TIPO I	2 500 ---- 10 000	AUTOPISTAS y FEDERAL
TIPO II	500 ---- 2 500	FEDERAL y ESTATAL
TIPO III		ESTATAL
TIPO IV		RURAL

C)La infinita gama de materiales presentes en la naturaleza y con aplicación a las Vías Terrestres, en este caso específicamente carreteras, se refiere a tres calidades:

Calidad Deseable	(óptima)
Calidad Adecuada	(intermedia)
Calidad Tolerable	(mínima aconsejable) .

III TABLAS RESÚMENES DE VALORES RECOMENDABLES

T A B L A I

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE TERRAPLÉN

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría ⁽¹⁾ (mm)	80% mín < 76 y 95% mín < 200	80% mín < 750	-----
Tamaño Máximo (mm)	-----	1000 o 1/2 espesor del cuerpo	1500 o 1/2 espesor del cuerpo
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	30 máx	40 máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	40 máx	50 máx	60 máx
Índice Plástico (IP) (%)	15 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.) (2)	95 mín.	95 +- 2	90 +- 2
V. R. S. (%) (Compact. dinámica) (3)	10 mín	10 mín	5 mín
Expansión (%)	3 máx	3 máx	3 máx

(1) Porcentaje en volumen.

(2) Con humedad de compactación igual o ligeramente mayor a la óptima de la prueba.

(3) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5 m de profundidad.

T A B L A 2

ESTRUCTURACIÓN DEL TERRAPLÉN SEGÚN EL TIPO DE OBRA VIAL

OBRAS VIALES ESPECIALES
Quedan fuera de especificaciones generales.

TIPO I

CUERPO DEL TERRAPLÉN

TERRAPLÉN		CORTE S	
ESPE SOR	CALIDAD	CAMA DEL CORTE	CALIDAD
100 cm o mayor	Deseable en el metro superior. Adecuada, como mínimo en el resto del terraplén.	Cama con calidad Deseable	Ningún tratamiento
		Cama con calidad Adecuada	Remover 30 cm y substituir con material de calidad Deseable
Menor que 100 cm	Si el terreno de cimentación posee la calidad Adecuada, colocar 60 cm de material de calidad Deseable. En caso contrario, remover y colocar 100 cm de material de calidad Deseable	Cama con calidad Tolerable o inferior	Remover 100 cm y colocar material de calidad Deseable
Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas.	Rellenar 1/3 del espesor total con material de calidad Tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios arriba señalados		

T A B L A 2 (Continuación)

T I P O II

TERRAPLÉN ESPESOR	CALIDAD	CORTES CAMA DEL CORTE	CALIDAD
70 cm o mayor	Adecuada en los 70 cm superiores.	Cama con calidad Adecuada	Ningún tratamiento
	Tolerable, como mínimo, en el resto del terraplén.	Cama con calidad Tolerable	Remover 30 cm y substituir con material de calidad Adecuada
Menor que 70 cm	Si el terreno de cimentación posee la calidad Tolerable, colocar 50 cm de material de calidad Adecuada. En caso contrario, remover y colocar 70 cm de material de calidad Adecuada	Cama con calidad inferior a la Tolerable	Remover 60 cm y substituir con material de calidad Adecuada
Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas	Rellenar 1/3 del espesor total del terraplén con material de calidad Tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios señalados arriba, en esta columna		
T I P O III			
40 cm o mayor	Tolerable en todo el espesor del terraplén, como mínimo	Cama con calidad Tolerable	Ningún tratamiento
Menor de 40 cm.	Si el terreno de cimentación es de calidad inferior a la Tolerable, remover y colocar 40 cm de terraplén de calidad Tolerable	Cama con calidad inferior a la Tolerable	Remover 30 cm y substituir con el mismo espesor de material de calidad Tolerable

T A B L A 3

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D				
	DESEABLE		ADECUADA		TOLERABLE
Granulometría					
Tamaño Máximo (mm)	76		76		76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	25	máx	35	máx	40 máx
Límite Líquido (LL)	30	máx	40	máx	50 máx
(%)					
Índice Plástico (IP)	10	máx	20	máx	25 máx
(%)					
Compactación (%) (AASHTO Est.) (1)	100	mín	100 +- 2		100 +- 2
V. R. S. (%) (Compact. dinámica) (2)	30	mín	20	mín	15 mín

(1) Con humedad de compactación hasta 3 % mayor a la óptima

(2) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5 m de profundidad

T A B L A 4

**VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE SUB-BASE
Y REVESTIMIENTO**

CARACTERÍSTICA	DESEABLE		C A L I D A D A D E C U A D A		REVESTIMIENTO	
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.1)	1- 2		1- 3		1- 3	
Tamaño Máximo (mm)	51		51		76	
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	15	máx	25	máx	10	mín
					20	máx
Límite Líquido (LL)	25	máx	30	máx	40	máx
(%)						
Índice Plástico (IP)	6	máx	10	máx	15	máx
(%)						
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín		100 mín		95 mín AASHTO Est.	
Equivalente Arena (%)	40	min	30	min		
V. R. S. (%) (Compact. dinámica)(1)	40	mín	30	mín	30	mín
Desgaste Los Angeles (%)	40	máx	-----		-----	

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

T A B L A 5

VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES DE BASE

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D			
	DESEABLE		ADECUADA	
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.2)	1- 2		1- 3	
Tamaño Máximo (mm)	38		51	
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	10	máx	15	máx
Límite Líquido (LL %)	25	máx	30	máx
Índice Plástico (IP %)	6	máx	6	máx
Equivalente Arena (%)	50	mín	40	mín.
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100	mín	100	mín
V. R. S. (%) (Compact. Dinámica) ⁽¹⁾	100	mín	80	mín
Desgaste Los Angeles (%)	40	máx	40	máx.

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

T A B L A 6

**VALORES DE CALIDAD PARA MATERIALES PÉTREOS DE
CARPETA ASFÁLTICA**

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D DESEABLE	A D E C U A D A
Granulometría: Zona Granulométrica	Anexo: Figuras	No 3 y 4
Tamaño Máximo (mm)	38	38
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	0- 4 máx	0- 8 máx
Humedad Natural W (%)	0	1 máx
Índice Plástico IP (%)	0	5 máx
Equivalente Arena (%)	60 mín	55 mín
Desgaste Los Angeles (%)	30 máx	40 máx
Partículas Alargadas (%)	25 máx	50 máx

T A B L A 7

**GUÍA DE ALGUNAS SECCIONES ESTRUCTURALES RECOMENDABLES
PARA CARRETERAS**

Estructuración de Capas Superiores según el Tipo de Obra Vial

SUBRASANTE	SUB-BASE	BASE	CARPETA ASF.
ESPESOR CALIDAD	ESPESOR CALIDAD	ESPESOR CALIDAD	ESPESOR CALIDAD

OBRAS VIALES ESPECIALES
Quedan fuera de especificaciones generales.

OBRA VIAL TIPO I

40 cm Deseable	15 cm Deseable	20 cm Deseable	7-10 cm Deseable (1)
----------------	----------------	----------------	-------------------------

OBRA VIAL TIPO II

40 cm Adecuada	15 cm Deseable	20 cm Deseable	5 cm Adecuada
----------------	----------------	----------------	---------------

OBRA VIAL TIPO III

40 cm Tolerable	15 cm Tolerable	20 cm Tolerable	Tratamiento con riegos.
-----------------	-----------------	-----------------	-------------------------

OBRA VIAL TIPO IV

30 cm Tolerable	-----	-----	Revestimiento 15 cm
-----------------	-------	-------	------------------------

(1) Un espesor mayor puede ser necesario, tras un análisis de vida útil esperada.

IV ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN CON EL TIEMPO

Toda obra realizada para dotar al usuario de una infraestructura adecuada, que cubra un buen proyecto, una buena construcción y proporcione un nivel de servicio razonable, quedaría trunca si no se previera una conservación oportuna y eficiente.

Lo anterior repercute directamente en la infraestructura carretera. La red existente está siendo sobre-cargada, por lo que su deterioro avanza más rápidamente de lo que se le puede mantener, hasta llegar a niveles de servicio por debajo o en el límite permisible. Por otro lado, es un hecho que los recursos destinados a la conservación son, y serán siempre insuficientes.

Por lo anterior, para mantener o conservar lo existente, así como para prever y mejorar lo futuro, se requieren estrategias de conservación puntuales y para ello se recomienda a los organismos o sectores responsables del mantenimiento de carreteras el empleo de herramientas de apoyo (ver Ref. 12) .

Por otro lado, debe hacerse resaltar la importancia de emplear mejores materiales, con calidades especiales y requerimientos de construcción más estrictos, en las capas inferiores de la sección estructural de los pavimentos para carreteras, con altos volúmenes de tránsito y sometidos a grandes cargas, para que así las "estrategias de conservación" se apliquen solamente en las capas más superficiales de rodamiento (sellos, sobre carpetas) , sin que se llegue a la necesidad de costosas reconstrucciones para corregir fallas intermedias o más profundas.

Uno de los principales objetivos del Manual aquí desarrollado, es lo anteriormente mencionado.

v. COMENTARIOS

El trabajo presentado busca mejorar la potencia y la calidad de las capas estructurales que componen los pavimentos flexibles tradicionales. Para su aplicación, se recomiendan algunos criterios iniciales.

a) Las obras de carácter Especial difícilmente puede esperarse que queden bien resueltas por capas de materiales tradicionales, del estilo de los tratados en este Manual. Se piensa que este tipo de caminos requiere de capas tratadas robustas o de la utilización de pavimentos de concreto; ambas modalidades no son presentadas en este Manual.

b) La utilización de los materiales de los diferentes niveles de calidad no debe verse como un criterio rígido por parte de ningún proyectista; combinaciones razonables pueden conducir a diseños muy adecuados minimizando costos. El criterio general que se propone es que los riesgos del proyecto en las carreteras (con especial énfasis en las más importantes) se minimicen en las capas profundas, al objeto de evitar acciones de conservación de naturaleza tal que deban considerarse como reconstructivas, con alto costo.

c) Algunos hechos importantes deben también considerarse en la aplicación de este Manual:

-La presencia de finos plásticos es uno de los indicadores más seguros de un futuro mal comportamiento de cualquier capa térrea. Valores tan altos como 100 %, actualmente tolerados, deben verse como inadecuados.

-Como consecuencia de lo anterior, la incorporación de materiales finos a otros suelos "con vistas a facilitar su compactación", debe verse como una práctica siempre indeseable; el procurar que los finos que se añaden no sean de naturaleza plástica no constituye garantía dadas las realidades de los materiales térreos y los procedimientos de control de construcción pesada.

-La compactación, cuyas virtudes no se discuten, suele transformarse en una técnica de resultados altamente contradictorios cuando se aplica en exceso a materiales con susceptibilidad (aunque sea pequeña) a los cambios volumétricos causados por absorción o pérdida de agua. El balance entre la naturaleza de los materiales y la compactación debe verse como un factor esencial al proyecto.

-En relación con lo anterior, el subdrenaje debe verse como un conjunto de técnicas de gran eficiencia independientemente de que su uso se haya restringido en el pasado más de lo que sería deseable.

-Las carpetas tradicionales utilizadas en la red nacional tienen espesores especialmente proclives a la fatiga. Es dudoso que en caminos de alto tránsito ningún soporte térreo de dichas carpetas logre evitar su rápido deterioro. Las soluciones a estos problemas son bien conocidas por los proyectistas, pero se desea enfatizar el hecho de que las carpetas muy flexibles (riegos) deben trabajar bien en carreteras con cierta deformabilidad, siempre que los niveles de tránsito no sean demasiado altos; si lo son, y el proyectista se orienta hacia una solución con carpeta de concreto asfáltico, los espesores requeridos para ésta no podrán ser menores de 12 a 15 cm. o más si se desea una vida útil razonable. Obviamente estos hechos abren un amplio abanico de posibilidades de proyecto poco utilizados aún en la red nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaría de Comunicaciones y Transportes
 - 1a. Normas de Calidad de los Materiales. Carreteras y Aeropistas. Terracerías
Libro 4 1986.
 - 1b. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas. Carreteras y Aeropistas. Terracerías y Pavimentos.
Libro 6 1986, 1987.
2. Materiales para Secciones Estructurales de Vías Terrestres.
A. Rico R., J. M. Orozco y O.
Oct. 1979.
3. Reflexiones sobre el comportamiento de los pavimentos flexibles.
Alfonso Rico

Oct. 1979.
4. Oklahoma Department of Highways
Standard specifications for Highway Construction. Edition of 1976 and 1984.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. (1978) .
6. State of Arizona. Department of Transportation Highways Division.
Standards Specifications for Road and Bridge Construction
Edition of 1982 and 1985.
7. Ministère des Transports. Direction des Routes. (SETRA) 7a. Memento des Specifications Francaises. Chaussées.
Feb. 1984.
- 7b. Recomendations pour la Realisation des Assises des Chaussées. Sep. 1969, Sep. 1972, Mayo 1974, Dic. 1974.
8. Ensayos de Pavimentos a Tamaño Natural.
J. M. Orozco.
IV Reunión Hispano-Mexicana de Técnicos en Vías Terrestres. Sep. 1988.
9. Materiales para Carreteras.
F. Ruz V.
Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Mazatlán. 1986.
10. Normas Portuguesas (JAE) 1978.

11. Textos de la Dirección General de Carreteras.
Ministerio de Obras Públicas. España
- 11a. Sistematización de los medios de compactación y su control. Dic. 1987
- 11b. Secciones de Firme en Autovías. Nov. 1987
12. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) .1a. Fase. Conservación.
Instituto Mexicano del Transporte.
A. Rico R., J.M. Orozco y O., R. Téllez, A. Pérez G.
1989

ANEXO.

CURVAS GRANULOMETRICAS

SUB-BASES Y REVESTIMIENTOS

ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES

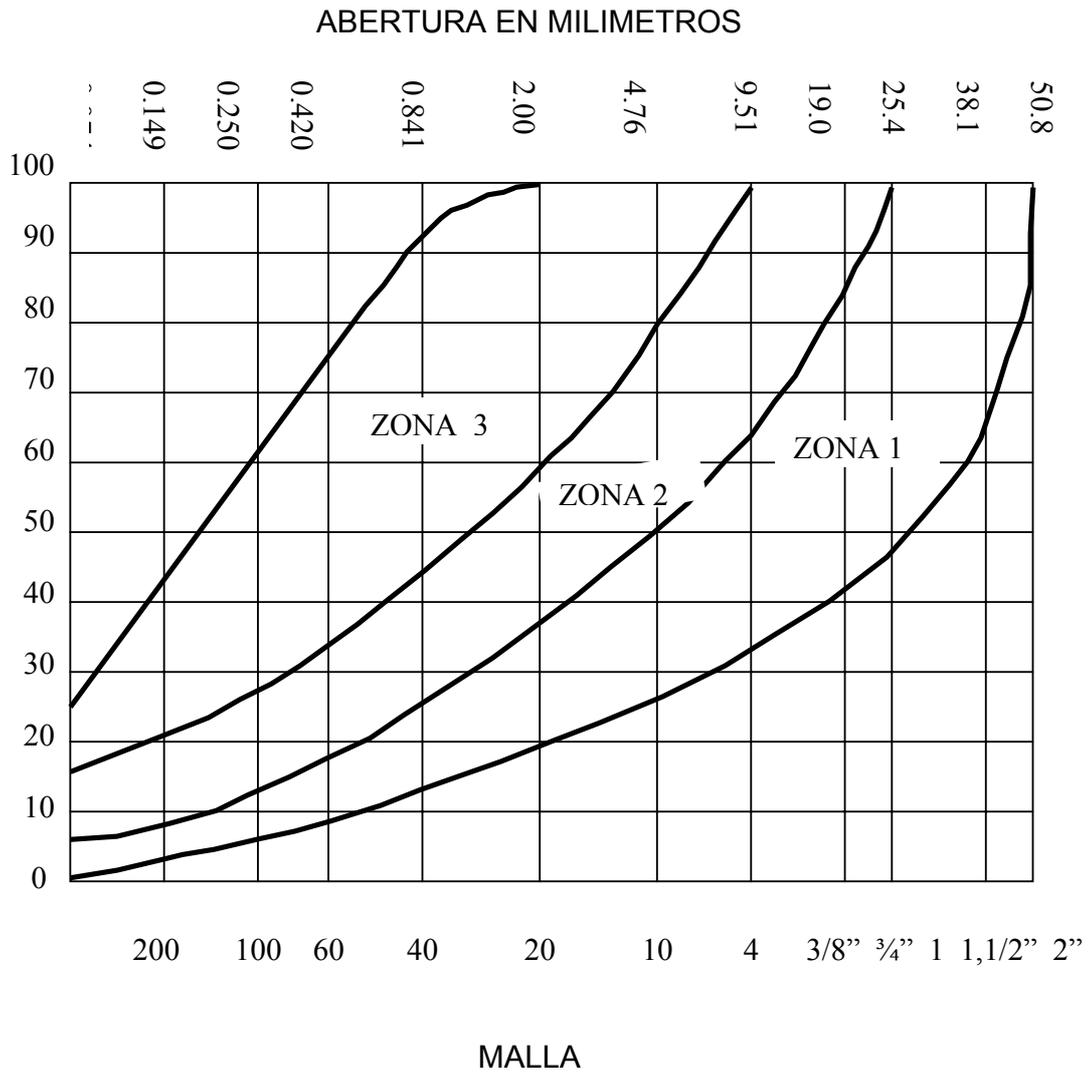


FIGURA NUMERO. 1

BASES

ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES

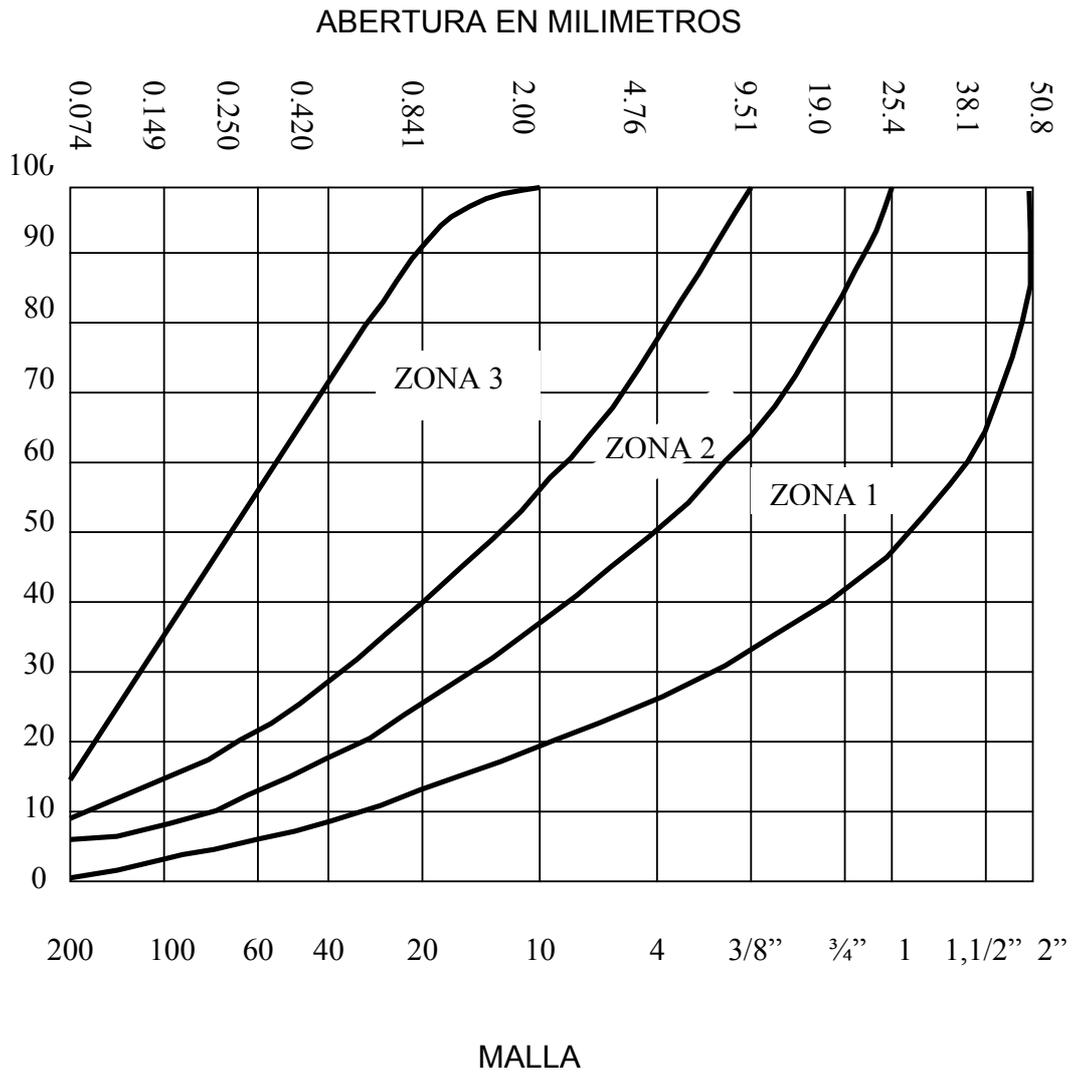


FIGURA NUMERO. 2

ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES PARA MATERIALES PÉTREOS QUE SE EMPLEEN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN EL LUGAR

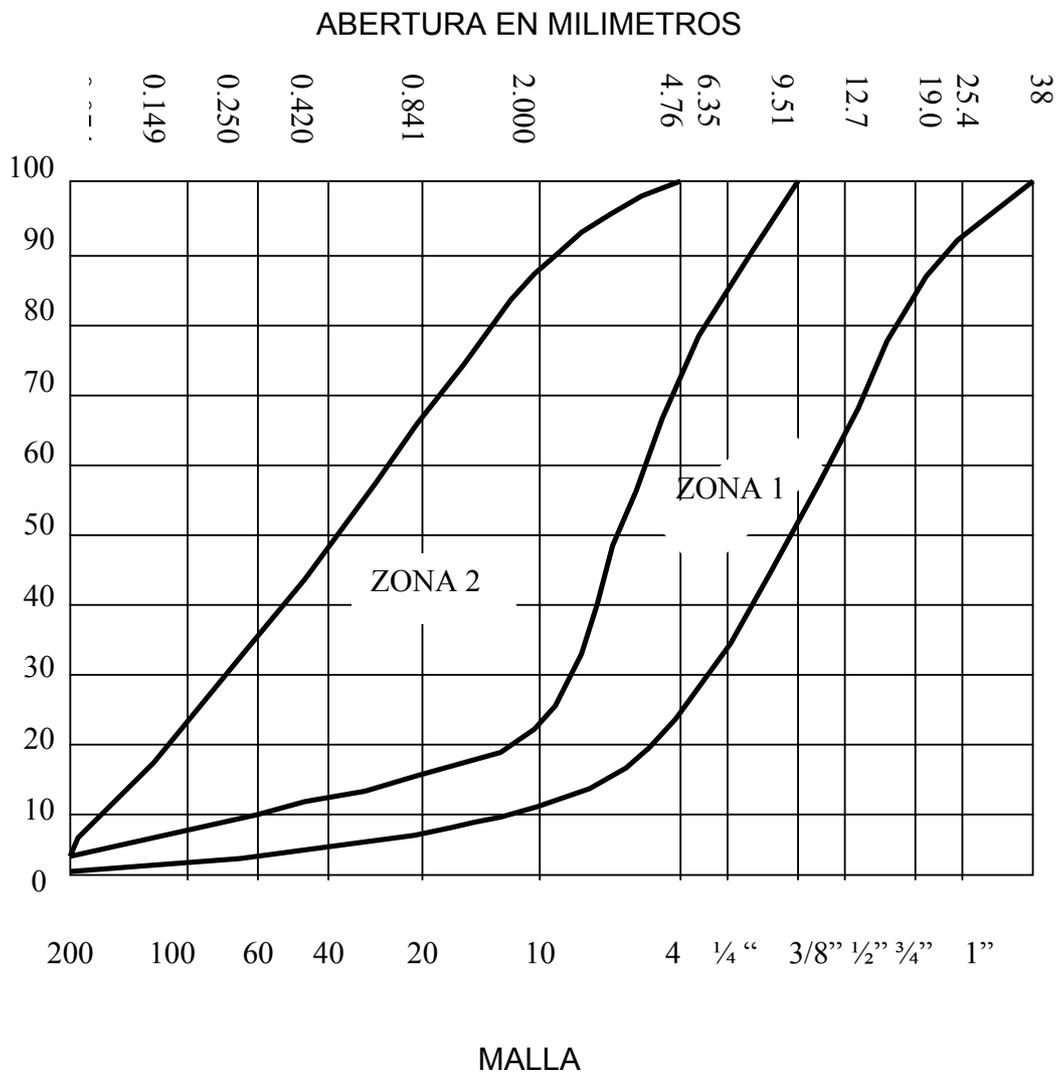


FIGURA NUMERO. 3

ZONAS GRANULOMETRICAS RECOMENDABLES PARA MATERIALES
PÉTREOS QUE SE EMPLEEN EN CONCRETOS ASFALTICOS

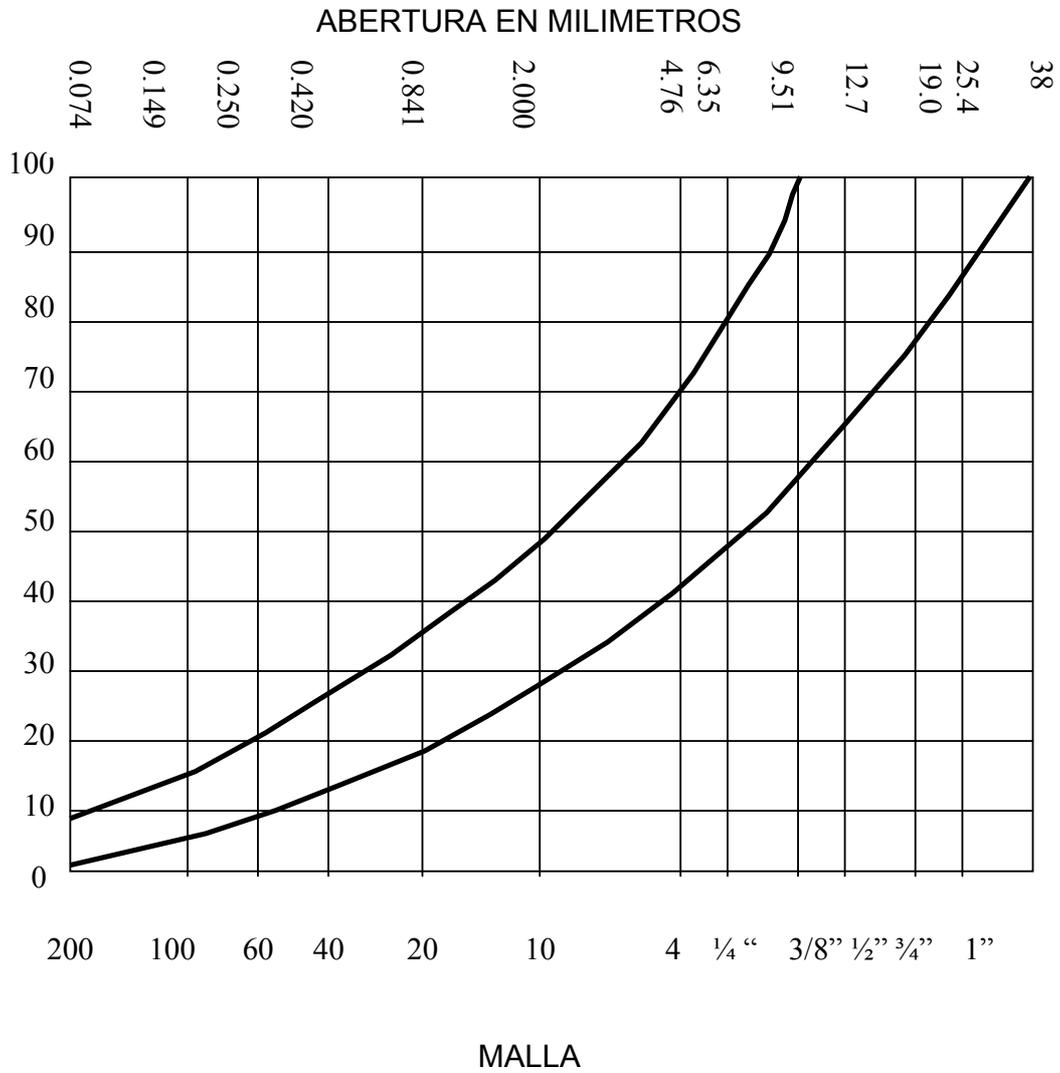


FIGURA NUMERO. 4



CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

**Internet: <http://www.imt.mx>
publicaciones@imt.mx**