



ISSN 0188-7114



MANUAL DE CALIDAD PARA MATERIALES EN LA SECCIÓN ESTRUCTURAL DE VÍAS FÉRREAS

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

Documento Técnico No. 2
Sanfandila, Qro, 1991

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

**MANUAL DE CALIDAD PARA
MATERIALES EN LA SECCIÓN
ESTRUCTURAL DE VÍAS
FÉRREAS**

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

**Documento Técnico No. 2
Sanfandila, Qro, 1991**

MANUAL DE CALIDAD PARA MATERIALES EN LA SECCIÓN ESTRUCTURAL DE VÍAS FÉRREAS

RESUMEN

En este trabajo se presenta un Manual actualizado que pretende mejorar la calidad de los materiales de la sección estructural de Vías Férreas. Debido a que existen tramos que ya no responden a las exigencias que les imponen los actuales volúmenes de tránsito, las características del equipo moderno y las altas tasas de crecimiento en el tonelaje transportado y transmitido a la sección estructural, en este documento se considera que son necesarios:

-Una mejor calidad del material para las capas inferiores, ya que si fallan, su reparación es muy costosa y difícil.

-Materiales mejor graduados en el balasto para que el contacto entre granos se efectúe en varios puntos.

Según esto, se han distinguido diversas calidades de material para constituir la sección estructural de vías férreas.

El trabajo fué realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por los Ingenieros Alfonso Rico Rodríguez, Juan Manuel Orozco y Orozco., Rodolfo Téllez Gutiérrez y Alfredo Pérez García.

Se agradece la revisión técnica y colaboración de los Ingenieros Mauricio Elizondo Ramírez y Santiago Cardoso Contreras.

ÍNDICE

MANUAL DE CALIDAD PARA MATERIALES EN LA SECCIÓN ESTRUCTURAL DE VÍAS FÉRREAS

	Pág.
I. Introducción.	1
II. Concepción del Manual.	3
III. Tablas Resumen de Valores Recomendables.	5
IV. Conclusiones y Recomendaciones.	12
Bibliografía.	13
Anexo:Curvas Granulométricas.	14

I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta una serie de valores recomendables de calidad para los materiales térreos que hayan de usarse en la construcción de Vías Férreas. Se considera una sección típica estructurada a partir del terreno de cimentación, por un cuerpo de terraplén, una capa subrasante, una capa de sub-balasto y una capa de balasto, pues el sistema de riel no ha sido considerado en este trabajo.

Un criterio básico que fundamenta este Manual, es que en una vía férrea, al igual que en los pavimentos, las capas inferiores de la sección estructural son irreparables dentro de un esquema económico razonable. Cuando en esas capas hay graves deficiencias, no quedan otras alternativas que la rehabilitación total, o encarar una conservación prohibitiva.

Las capas subrasante y sub-balasto son necesarias como liga entre una terracería de buen comportamiento y el sistema de balasto y riel. Resultaría antieconómico e inconveniente desde el punto de vista estructural, exigir una terracería de tan alta calidad como para poder estar en contacto directo con el sistema de balasto y riel.

El volumen de tránsito y las cargas que se mueven sobre la red ferroviaria, llevan a dividirla en tres tipos de vías férreas, de tal manera que se puedan utilizar los materiales térreos en una forma donde la calidad de estos va a variar en forma gradual (se proponen tres calidades de material) , dependiendo de la importancia de la vía dentro de la red.

Particular atención se ha dado también al problema de las especificaciones para balasto, capa cuyo comportamiento es diferente al usual en la estructuración de otras obras viales. Las especificaciones para balasto se han establecido desde hace mucho tiempo, sin que hasta la fecha hayan sufrido ninguna modificación y sin que, hasta donde se sabe, se haya dedicado a este tema un monto de reflexión correspondiente a su importancia.

En la actualidad todos los balastos que se recomiendan en el mundo consideran un material sumamente uniforme, comprendido entre las mallas de 64 mm (2 1/2") y la de 4.76 mm (No.4). A este material se le encuentran algunos defectos básicos, según investigaciones recientes efectuadas en los campos de la Mecánica de Suelos y de Rocas aplicadas a obras de Ingeniería, diferentes de las vías férreas:

1. La extrema uniformidad de los granos hace que el contacto entre ellos ocurra a través de pocos puntos, con lo que las cargas de los ferrocarriles modernos y los efectos dinámicos correspondientes producen muy altos esfuerzos en esos contactos que propician la ruptura de partículas y aún el flujo plástico entre ellas, con el consiguiente aumento de la deformabilidad y disminución de la resistencia.
2. La misma granulometría uniforme en exceso es inconveniente desde el punto de vista de la posibilidad de la incrustación del balasto en capas subyacentes.

Por otra parte, en México actualmente el ferrocarril está en condiciones de transmitir a las terracerías un esfuerzo elevado debido a que sobre el riel la carga por eje es hasta de 36.3 toneladas.

II. CONCEPCIÓN DEL MANUAL

A) Usualmente la sección estructural de una vía férrea estará constituida por:

el Cuerpo del Terraplén,
la capa Subrasante,
el Sub-balasto y
el Balasto,

haciéndose notar que el sistema de riel y durmientes no se considera parte de la sección. Las características de un proyecto determinado pueden hacer conveniente la utilización de otras capas o la eliminación de alguna de las enumeradas. El terreno natural juega un papel importante en el comportamiento general, por lo que se considera parte de la sección estructural de apoyo de la vía.

B) Desde el punto de vista de utilización de materiales para la sección estructural de Vías Férreas, se define la obra por ejecutar según tres tipos de Vías :

1) Vías Férreas Tipo I

Son las vías férreas que soportarán el paso de cargas superiores a los 30 millones de toneladas netas/año. Serán incluidas aquí las vías electrificadas.

2) Vías Férreas Tipo II

Son las vías férreas que soportarán el paso de cargas entre 10 millones y 30 millones de toneladas netas/año.

3) Vías Férreas Tipo III

Son las vías férreas que soportarán el paso de cargas inferiores a los 10 millones de toneladas netas/año.

Las vías tipo II para las que se prevea un desarrollo que las convierta en vías con características del tipo I dentro de su vida útil, deberán considerarse cuidadosamente en los proyectos con la idea de que la transformación de capas inferiores de la sección estructural, como terraplenes o subrasantes, es prácticamente imposible o muy costosa; por el contrario la transformación diferida de capas superiores puede ser una buena política. Otro tanto puede decirse de vías clasificadas como tipo III, que puedan transformarse en vías tipo II durante su vida útil.

C) La utilización de materiales según los tres tipos de vías anteriormente descritas, hacen necesario matizar la calidad de los materiales de acuerdo a tres tipos de calidad definidos (en orden decreciente) como:

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

III. TABLAS RESUMEN DE VALORES RECOMENDABLES

T A B L A 1

VALORES PROPUESTOS PARA MATERIALES DE TERRAPLÉN

CARACTERÍSTICAS	C A L I D A D		
	DESEABLE	ADECUADA	TOLERABLE
Granulometría (I) (mm)	80% mín < 76 y 95% mín < 200	80% mín < 750	-----
Tamaño Máximo (mm)		1 000 o 1/2 espesor del cuerpo	1 500 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 (%) (Próctor Est. Var. A) (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 VÍA FÉRREA
VÍAS TIPO I**

CUERPO DEL TERRAPLÉN			
TERRAPLÉN		CORTES	
ESPESOR	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 Cama con calidad Adecuada.	Ningún tratamiento 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)

VIAS TIPO II

TERRAPLÉN ESPESOR	CALIDAD	CAMA DEL CORTE	CORTE S CALIDAD
70 cm o mayor	Adecuada en los 70 cm superiores. Tolerable, como mínimo, en el resto del terraplén.	Cama con calidad Adecuada. Cama con calidad Tolerable.	Ningún tratamiento 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.		

VÍAS TIPO 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 PROPUESTOS PARA MATERIALES DE LA CAPA SUBRASANTE

CARACTERISTICAS	C DESEABLE	A L I D ADECUADA	A D TOLERABLE
Granulometría			
Tamaño Máximo (mm)	76	76	76
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	20 máx	25 máx	30 máx
Límite Líquido (LL) (%)	30 máx	40 máx	50 máx
Índice Plástico (IP) (%)	10 máx	20 máx	25 máx
Compactación (%) (Próctor Est. Var. A) (1)	100 mín	100 ± 2	100 ± 2
V. R. S. (%) (Compact. dinámica) (2)	30 mín	20 mín	15 mín
Peso Volumétrico seco máximo (Kg/m ³)	1 600 mín	1 600 mín	—

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

(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 PROPUESTOS PARA MATERIALES DE SUB-BALASTO
CARACTERÍSTICAS		C A L I D A D ADECUADA
Granulometría: Zona Granulométrica (Anexo: fig. No.1)		1 y 2 1 a 3
Tamaño	Máximo (mm)	51 51
Finos	(%) (Mat. < 0.074 mm)	15 máx 25 máx
Límite Líquido (LL	(%)	25 máx 30 máx
Índice Plástico (IP	(%)	6 máx 10 máx
Equivalente Arena (%)		40 mín 30 mín
Índice Durabilidad (%)		40 mín 35 mín
Compactación (%) (Proctor Modif. Var. D)		100 mín 100 mín
V. R. S. (%) (Compacta dinámica) (1)		40 mín 30 mín
Peso Volumétrico seco máximo (Kg/m3)		1 700 mín

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

T A B L A 5

VALORES PROPUESTOS PARA MATERIALES DEL BALASTO

CARACTERÍSTICAS	C A L I D A D DESEABLE		D A D ADECUADA	
Granulometría:				
Zona Granulométrica	Según fig No2		(En Anexo)	(1)
Tamaño Máximo (mm)	38		51	
Finos (%) (Mat. < 0.074 mm)	0		5	máx (2)
Equivalente Arena (%)	50	mín	40	mín
Desgaste Los Angeles (%)	30	máx	40	máx
Índice Durabilidad (%)	50	mín	40	mín
Peso Volumétrico seco máximo (Kg/m ³)	1800	mín	1800	mín
Partículas Angulosas (%)	90	mín	60	mín

(1) Ver IV. Conclusiones, para tamaños menores de 4.76 mm.

(2) Con Límite Líquido de 25% máximo.

T A B L A 6

GUÍA DE ALGUNAS SECCIONES ESTRUCTURALES RECOMENDABLES

Estructuración de Capas Superiores según el tipo de Vía Férrea

CALIDAD	SUBRASANTE		SUB-BALASTO		BALASTO	
	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	CALIDAD	ESPESOR	
	(*)		(*)		(*)	
TIPO I	40 cm Deseable	Deseable	20 cm	Deseable	20	cm
TIPO II	40 cm Deseable	Adecuada	20 cm	Deseable	20	cm
TIPO III	40 cm Adecuada	Tolerable	20 cm	Adecuada	20	cm

* Espesores mínimos.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Es urgente un mejoramiento de la calidad de los materiales usados en la sección estructural de las Vías Férreas sobre todo en sus capas bajas (terracerías y subrasantes) , ya que actualmente las Normas no limitan la plasticidad de los materiales empleados que podrían contaminar el sub-balasto y balasto, produciendo errores (inestabilidad volumétrica de la base de apoyo) y que afectan a toda la sección estructural en forma difícilmente reparable.
2. Para repartir mejor las cargas entre las partículas del balasto, es necesaria una granulometría mejor graduada en este material, que considere tamaños más pequeños que la malla de 4.76 mm, excluyendo lo más posible el material fino (tamaño inferior a 0.074 mm) .
3. Se recomienda la trituración del material de balasto a partir del tamaño máximo de 38 mm lo que es compatible con colocación manual o con equipo. En las vías de más alta ocupación se recomiendan otros requerimientos intermedios en la curva granulométrica, destinados a obtener una forma que garantice un comportamiento adecuado.
4. En materiales granulares friccionantes, insensibles al cambio en humedad, aumentar la compactación del material es aconsejable pues aumenta la resistencia de la capa. En cambio, en materiales con alto porcentaje de finos plásticos, un aumento de la compactación del material puede resultar nocivo para la capa debido a la susceptibilidad del material a los cambios volumétricos.
5. Los espesores propuestos para las capas, según el tipo de Vía Férrea, son espesores mínimos que podrían utilizarse como primera aproximación en el proyecto geométrico. Estos espesores serían sustituidos por otros mejores, si el proyecto final así lo indica.
6. Condiciones especiales en el terreno de cimentación pueden hacer variar por completo los requerimientos de la sección estructural. Esos casos deberían ser considerados en un estudio geotécnico correspondiente.

B I B L I O G R A F Í A

- 1.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes
 - 1a.- Normas de Calidad de los Materiales
Carreteras y Aeropistas. Terracerías
Libro 4 1986.
 - 1b.- Normas de Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos
y Sistemas.
Carreteras y Aeropistas. Terracerías y Pavimentos.
Libro 6 1986, 1987.
 - 1c.- Normas para Construcción e Instalaciones. Carreteras y Aeropistas.
Pavimentos.
Libro 3 1983.
 - 1d.- Normas de Construcción.
Normas de Materiales. Tomo VIII 1981
- 2.- Materiales para Secciones Estructurales de Vías Terrestres.
Rico Rodríguez A. y Orozco y O. Juan M.
- 3.- Plan de Largo Plazo y Programa de los Ferrocarriles
Nacionales de México.
1989- 1997
Ferrocarriles Nacionales de México.
- 4.- Manual for Railway Engineering.
(Fixed Properties) .Vol I, 1981-82
American Railway Engineering Association.

ANEXO.

CURVAS GRANULOMETRICAS

ZONAS DE ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS

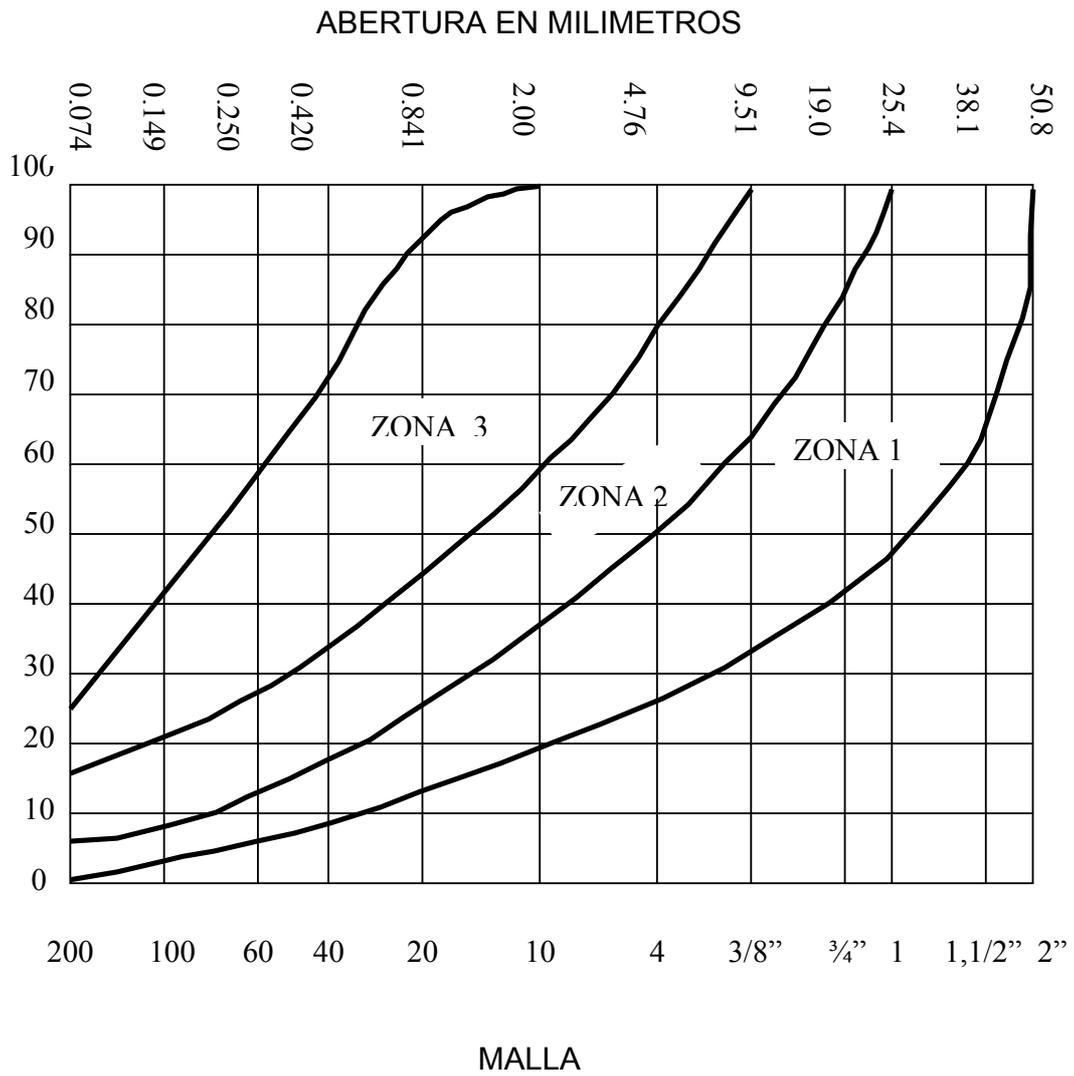


FIGURA NUMERO. 1

GRANULOMETRIA PARA BALASTO

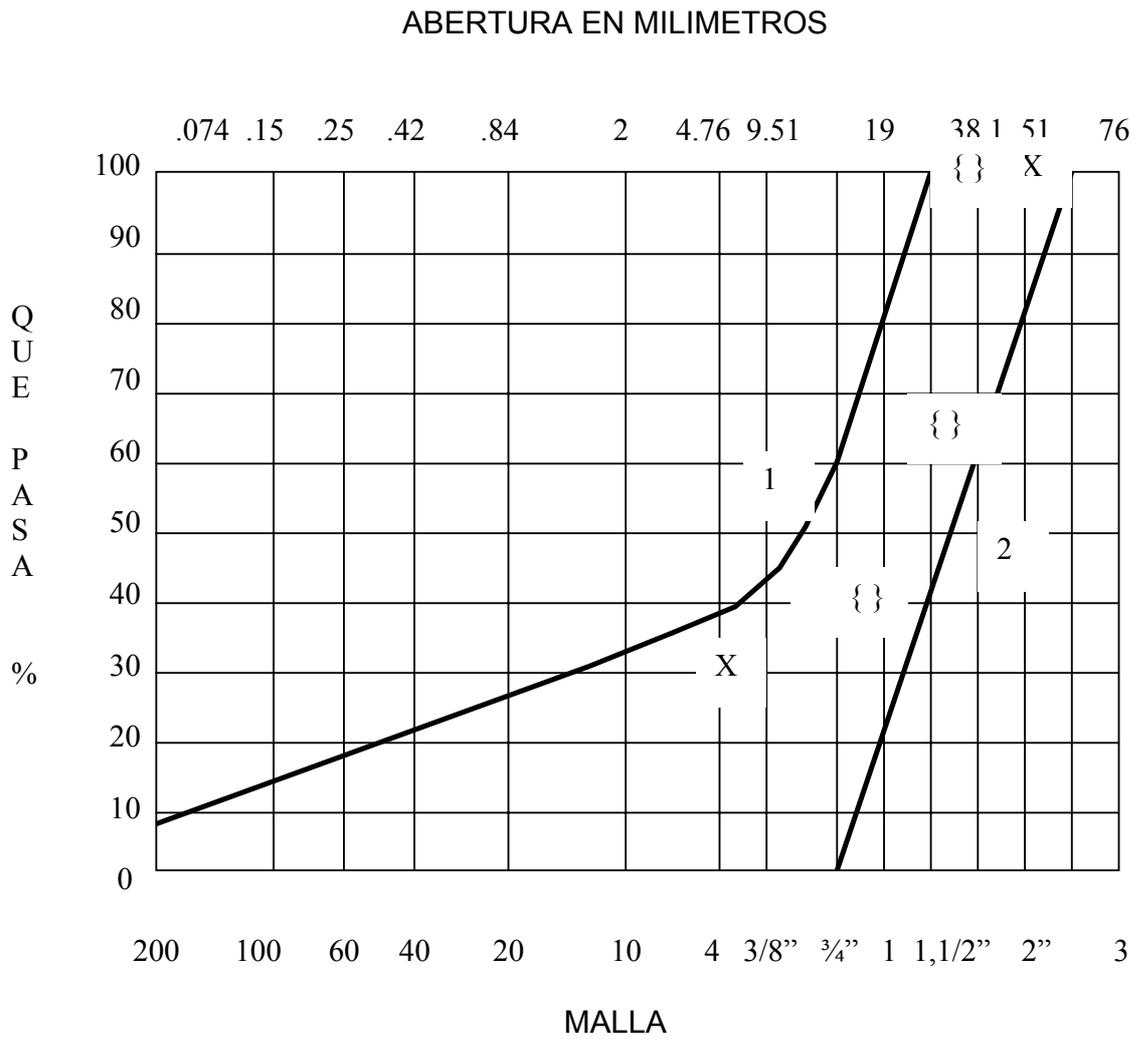


FIGURA NUMERO. 1

BALASTO

FIGURA NUMERO 2

CALIDAD TOLERABLE X

CALIDAD DESEABLE {}



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