



# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE  
FERROVIARIO



**Subsecretaría de Infraestructura**  
Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario

DAVID CAMACHO ALCOCER, Titular de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 1o., 17, 26 y 36, fracción VIII, de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1, 6 Bis, fracciones I, II, XVI, XIX y párrafo último, 25, 28, 29, 30, y 31, de la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario; 1, 42, 46, 47 y 49, fracción I del Reglamento del Servicio Ferroviario; artículos PRIMERO, SEGUNDO, TERCERO, y CUARTO del Decreto por el que se crea la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario publicado en el Diario Oficial de la Federación el 18 de agosto de 2016; numeral 7, sub numeral 7.1 del Manual de Organización de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de marzo de 2017; y en el nombramiento expedido a mi favor por el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos de fecha 01 de abril de 2021, y

## CONSIDERANDO

I. Que conforme a lo dispuesto por el artículo 28, párrafos cuarto y quinto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los ferrocarriles son un área prioritaria para el desarrollo nacional en términos del artículo 25 del ordenamiento en mención y que el Estado al ejercer en ella su rectoría, protegerá la seguridad y la soberanía de la Nación, y al otorgar concesiones o permisos mantendrá o establecerá el dominio de las respectivas vías de comunicación de acuerdo con las leyes de la materia.

II. Que el 26 de enero de 2015, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, el cual señala en los artículos 2, fracción I y Transitorio Segundo, la creación de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

En ese sentido, la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario en su artículo 6 Bis, fracciones I, II y XVI establecen la atribución de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario para determinar las características y especificaciones técnicas de las vías férreas, verificar que las mismas cumplan con las disposiciones aplicables y emitir lineamientos y disposiciones de observancia obligatoria para los concesionarios, permisionarios y autorizados los servicios ferroviarios.

III. Que con fecha 18 de agosto de 2016 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se crea la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (DECRETO).

IV. Que la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario tiene dentro de su objeto, establecido en el artículo SEGUNDO del DECRETO, el de regular la construcción, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.

V. Que los presentes Lineamientos tienen el propósito de definir y describir los métodos de muestreo y pruebas de aquellos materiales considerados para ser utilizados como material de balasto ferroviario en México para proyectos y obras de servicio de pasajeros y mixto, así como fijar los límites permisibles que deberán cubrir estos materiales para su utilización de acuerdo con las características de clase de vía para aumentar y fortalecer la seguridad en el transporte ferroviario del servicio de pasajeros y mixto, por lo que he tenido a bien expedir los siguientes:





## LINEAMIENTOS PARA LOS MATERIALES QUE SON EMPLEADOS EN EL BALASTO FERROVIARIO PARA TRÁFICO DE PASAJEROS Y MIXTO.

La Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (AGENCIA) a través del presente LINEAMIENTO, especifica las pruebas que deberán ser utilizadas en aquellos materiales considerados a ser empleados como material de balasto en México y las condiciones que debe cumplir el balasto para aplicaciones en ferrocarriles de pasajeros y mixtos.

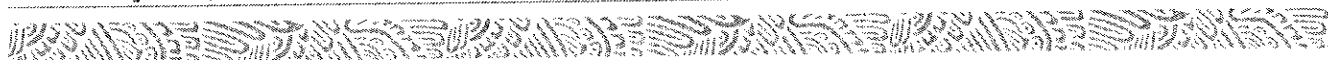
### 1. Muestreo del material de balasto

#### 1.1. Tipos de muestreo

1.1.1. El muestreo es tan importante como las pruebas a las que debe estar sometido el material. Existen cinco tipos de muestreos de acuerdo con el momento y el responsable de su realización según se establece en la Tabla 1.

Momento del Muestreo	Responsable de realización
1. Durante el desarrollo de la fuente potencial	Desarrollador de la fuente potencial, dueño, concesionario de la mina o fuente o suministrador del material, denominado en este lineamiento como Desarrollador. Se realiza para prospectar posibles fuentes y los sitios específicos de extracción
2. Autocontrol durante la producción del balasto	Desarrollador consiste en un autocontrol de calidad de la producción que se tiene en la fuente
3. Durante la construcción de la infraestructura de vía	Concesionario que tiene la autorización del proyecto y constructor contratista de la obra. Se realiza por parte del concesionario, o por el constructor que este designe, antes de la salida del material del sitio de la fuente al punto de la obra. También se puede realizar por instrucción específica o como parte de un proceso de verificación de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario al proceso de construcción de la vía general de comunicación ferroviaria
4. Durante la vida útil del proyecto	Concesionario, asignatario o permisionario que tiene bajo su cargo la operación y mantenimiento del sistema ferroviario y que será denominado a lo largo de este documento como CONCESIONARIO. También se puede realizar por instrucción específica o como parte de un proceso de verificación de la Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario o un OEC
5. Durante la ejecución de una obra de mantenimiento al balasto ferroviario	Se considerará como una construcción de infraestructura de vía, por lo que le resulta aplicable lo referido en el número 3 de la presente tabla y consecuentemente todos los lineamientos aplicables a dicho número

Tabla 1. Tipos de muestreo.





- 1.3.3.** El contratista o productor de balasto dispondrá de acopios, que deberá colocar al abrigo de cualquier posible fuente de contaminación, como, por ejemplo, finos arrastrados por el viento, o que procedan de los diferentes tipos de materiales que se fabriquen en la fuente y alejados de cualquier zona de tránsito de vehículos. A partir de estas existencias de acopios, se realizará un muestreo removiendo de dos lugares distintos y opuestos representativos del mismo acopio con la cuchara de una pala mecánica, desde una altura de 0.20 m sobre el suelo constituyendo dos muestras globales por acopio. A partir de cada muestra global se tomarán, con una pala manual, desde la cuchara de la pala mecánica, dos muestras unitarias de 40 o 50 kilogramos cada una, las cuales, deberán colocarse en sacos de hule que impidan la modificación de las condiciones actuales de humedad o limpieza del material. De esta manera se tendrán 4 sacos de 40 a 50 kg.
- 1.3.4.** La obtención de la muestra final para realización de los ensayos debe efectuarse por un procedimiento de cuarteo. El cuarteo puede ser realizado por la acción de cuarteadoras mecánicas homologadas con apertura mínima de setenta y seis (76) milímetros, o por un procedimiento manual. Para el procedimiento de cuarteo manual se emplea una regla, una pala de fondo plano y borde recto, pala o cuchara de albañil, una escoba o brocha, y una lona de aproximadamente 2 x 2.5 m (6 x 8 pies). Las cuatro muestras unitarias son vertidas para ser colocadas sobre la lona, la cual, debe estar sobre una superficie horizontal, plana, rígida y limpia hasta constituir un montón en forma de cono. Se mezcla el material completamente, traspaleando la muestra entera al menos tres veces. En el último traspaleo se forma, con la muestra, una pila cónica, depositando cada palada en la parte superior de la pila. Cuidadosamente se aplanar la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme en un montículo extendido circular de unos veinte (20) centímetros de altura, de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en él. Con una pala o cuchara, la masa aplanada, se extenderá y se dividirá en cuatro sectores iguales. Los volúmenes de dos sectores opuestos se mezclan y homogeneizan y, con el volumen de dicha mezcla, se repite el proceso anterior hasta obtener una masa de al menos cuarenta ( $\geq 40$ ) kilogramos de material que constituirá una muestra final obteniendo 4 muestras finales.
- 1.3.5.** En las muestras finales recogidas en sacos, se especificará claramente los lugares y fechas de toma de estas, y quedarán debidamente etiquetadas y precintadas. Cada muestra ( $\geq 40$  kg) se podrá repartir en dos sacos debidamente referenciados a fin de reducir a la mitad el esfuerzo que se ha de realizar al manipularlos.
- 1.3.6.** Las muestras finales colocadas en sacos se repartirán de la siguiente manera: dos de las muestras se ensayarán en el laboratorio, una permanecerá en el almacén de la cantera y la otra en el archivo de muestras del laboratorio por un tiempo mínimo de 2 meses para posibles futuros ensayos.
- 1.3.7.** El productor del balasto realizará un registro de suministro, referido en este lineamiento como Bitácora, con la finalidad de llevar un control e identificar todos los lotes de balasto producidos. Debe contener como mínimo: Fechas de suministro, el volumen y el vehículo empleado para su envío a obra conforme se vaya realizando. La bitácora también incluirá la información de las muestras finales tomadas, enviadas y almacenadas, los datos de ubicación de la toma, la fecha, las etiquetas correspondientes de los sacos, las fechas de envío y puntos de la obra a los que fueron remitidos, y los



1.1.2. Existen tres tipos de muestras por su procedimiento de obtención como se describe en la Tabla 2.

Tipo de muestra	Descripción
Muestra global	Se refiere al conjunto de al menos dos muestras tomadas con pala mecánica de los lados opuestos de los montones de acopio equivalente aproximadamente a 200 kg
Muestra unitaria	Se refiere a la muestra de 40 a 50 kg obtenida mediante pala manual a partir de una muestra global
Muestra final o de ensayo	Se refiere a una muestra de 40 a 50 kg obtenida a partir de 4 muestras de 40 a 50kg después de un proceso de cuarteo

Tabla 2. Tipos de muestras.

## 1.2. Procedimiento de muestreo para desarrollo de la fuente potencial

- 1.2.1. El desarrollador presentará el volumen esperado de extracción para el proyecto o contrato y los puntos posibles de extracción en un mapa proyectando lotes de producción posibles.
- 1.2.2. Se seleccionará un punto de extracción y se cortará, procesará y triturará un lote muestra del cual se tomará un muestreo de producción como se indica en los subincisos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5.
- 1.2.3. De las 4 muestras finales obtenidas, dos se remitirán al laboratorio, de la cual una se ensayará y la otra permanecerá resguardada en el laboratorio por 3 meses para algún ensayo adicional de validación. Las otras dos muestras finales se mantendrán resguardadas en la fuente o cantera por 3 meses.
- 1.2.4. La AGENCIA, aleatoriamente en el tiempo, podrá exigir la realización de tomas de muestras y envíos a laboratorio como parte de la verificación que practique en ejercicio de sus atribuciones. Así mismo, podrá solicitar la aplicación de pruebas de laboratorio aleatorias sobre las muestras almacenadas en los laboratorios o en los almacenes de la fuente.

## 1.3. Muestreo de autocontrol producción del balasto y durante la construcción de la infraestructura de vía

- 1.3.1. Ésta se realiza durante el proceso de explotación, producción y previo al envío del material de balasto a la obra según se establece en la Tabla 1.
- 1.3.2. La frecuencia de muestreo dependerá del volumen del contrato asignado al banco o fuente de acuerdo con la Tabla 3.

Volumen contratado	Verificaciones
Más de 200,000 m <sup>3</sup>	1 por cada 3,000 m <sup>3</sup> (FM1)
Entre 200,000 y 100,000 m <sup>3</sup>	1 por cada 2,500 m <sup>3</sup> (FM2)
Entre 100,000 y 50,000 m <sup>3</sup>	1 por cada 2,000 m <sup>3</sup> (FM3)
Menos de 50,000 m <sup>3</sup>	1 por cada 1,500 m <sup>3</sup> (FM4)

Tabla 3. Frecuencia del muestreo.





resultados del laboratorio de acuerdo al inciso 2. La Bitácora será resguardada en la cantera desde el inicio de la producción y hasta por un periodo de 3 meses a partir de concluido el contrato; además, remitirá una copia al concesionario (o asignatario) y al constructor, que deberán integrar la Bitácora cada uno por separado, y a LA AGENCIA de manera mensual durante la duración del contrato.

**1.3.8.** El constructor enviará a la AGENCIA copia de la Bitácora con el registro de muestras y de suministro de lotes de balasto, adicionando la ubicación geográfica del punto en la vía en que fue colocado cada lote o envío de material (APENDICE 2), así como un reporte fotográfico que evidencie la toma de muestras del material en sitio. Lo anterior será enviado a la AGENCIA de manera mensual para su integración en las estadísticas de mantenimiento y estado físico de la vía

**1.3.9.** El concesionario informará a la AGENCIA, que realizó la supervisión de los procesos de muestreo durante esta etapa y que se realizaron de manera adecuada, lo anterior por cada obra-contrato-constructor, rubricadas por el personal responsable de manera mensual para su integración en las estadísticas de mantenimiento y estado físico de la vía.

**1.3.10.** La AGENCIA, aleatoriamente en el tiempo, podrá exigir la realización de tomas de muestras y envíos a laboratorio como parte de la verificación que practique en ejercicio de sus atribuciones. Así mismo, podrá solicitar la aplicación de pruebas de laboratorio aleatorias sobre las muestras almacenadas en los laboratorios o en los almacenes de la fuente.

#### 1.4. Procedimiento de muestreo durante la vida útil del proyecto

**1.4.1.** Las muestras de balasto de una vía que ya está en operación se recogerán, para comprobar su estado actual. Éstas se recogerán por el concesionario (asignatario o permisionario) cuando sean parte de una verificación de mantenimiento rutinario de parte del concesionario, o cuando sean elemento de una inspección o verificación realizada por parte de la AGENCIA o un OEC. En ambos casos, puede ser realizada por una empresa tercerizada contratada por alguna de las partes anteriores.

**1.4.2.** Se deberá determinar la clasificación de vía a partir del volumen de carga que circula por una vía general de comunicación y el tipo de servicio que se presenta en la vía, calculado con los registros del último año de acuerdo con la Tabla 4.

Tipo de servicio	Millones de Toneladas por año	Importancia de la vía	Frecuencia de inspección
Mixta y pasajeros	No aplica	Muy Alta	1 vez al año.
Carga	Mayor a 6	Alta	1 vez cada 1 año
	Entre 1 y 6	Mé dia	1 vez cada 3 años
	Menor a 1	Baja	1 vez cada 6 años

Tabla 4 Importancia y frecuencia de inspección de las vías generales de comunicación

**1.4.2.1.** Se deberá calcular el número de muestras a tomar, considerando un error estadístico aceptable (e) del 10% y un nivel de confianza (NC) del 80%, utilizando la siguiente fórmula:





$$n = \frac{N Z a^2 p q}{e^2 (N-1) + Z a^2 p q} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- $n$  = número de muestras a tomar por concesionario y tipo de importancia
- $N$  = kilometraje por concesionario de cada clasificación según Tabla 4.
- $Za$  = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC), equivalente a 1.96.
- $e$  = Error de estimación máximo esperado igual al 5% (0.05).
- $p$  = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)
- $q = (1-p)$  = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

**1.4.2.2.** Para el primer año, los valores serán de  $p=0.90$ ,  $q=0.10$ , para los años subsiguientes se determinará  $p$  calculando la proporción de muestras evaluadas que obtuvieron la Evaluación de la conformidad positiva, como se muestra en el ejemplo del Apéndice 4.

**1.4.2.3.** Durante los años subsiguientes donde los valores de  $p$  sean menores a 0.5 ( $p < 0.5$  y  $q > 0.5$ ) se tomará una muestra por cada kilómetro de vía sin importar el tipo de importancia de ésta. Una vez que los valores de  $p$  vuelvan a ser mayores o iguales a 0.5 ( $p \geq 0.5$ ) se podrá obtener el número de muestras volviendo a aplicar la fórmula estadística con los valores de  $p$  y  $q$  más recientes.

**1.4.2.4.** Se seleccionarán las ubicaciones de los puntos donde se levantarán las muestras de forma aleatoria por la AGENCIA o el OEC en el caso de una Evaluación de la conformidad distribuyendo los puntos de inspección en todos los ramales clasificados según la Tabla 4

Tipo de servicio	Millones de Toneladas por año	Importancia de la vía	Frecuencia de inspección
Mixta y pasajeros	No aplica	Muy Alta	1 vez al año.
Carga	Mayor a 6	Alta	1 vez cada 1 año
	Entre 1 y 6	Mé dia	1 vez cada 3 años
	Menor a 1	Baja	2 vez cada 6 años

**1.4.2.5.** Tabla 4 que opere el Concesionario. Los puntos seleccionados deberán contar con una placa kilométrica.

**1.4.3.** Para el punto de un kilómetro en particular donde se levantará la muestra, se deberán vaciar totalmente tres espacios entre traviesas de durmientes, separados al menos una distancia de cuatro durmientes. El material extraído en dichos espacios constituirá la muestra global correspondiente al punto del kilómetro elegido de la vía.

**1.4.4.** Se recogerá el material mediante un rastrillo, pico, pala, recogedor cuadrado de bordes altos, o con las propias manos debidamente protegidas con guantes, evitando el golpeteo excesivo que genere desmoronamientos de material que perjudiquen la toma





de muestras, tomando una zona centrada de dicho espacio y llegando cinco (5) centímetros antes de la profundidad al sub-bálastro o la plataforma de la vía para evitar dañarlo durante la excavación y sin tomar material del mismo.

**1.4.5.** La muestra final se obtendrá por el procedimiento de cuarteo indicado en 1.3.4 y 1.3.5.

**1.4.6.** Las muestras finales colocadas en sacos se repartirán de la siguiente manera: dos de las muestras se ensayarán en el laboratorio, una permanecerá en el almacén de la empresa concesionaria y la otra en el archivo de muestras del laboratorio por un tiempo mínimo de 3 meses para posibles futuros ensayos.

**1.4.7.** El Concesionario realizará un registro de las muestras finales tomadas, enviadas y almacenadas y lo resguardará por un periodo de 3 meses a partir de la toma de muestra y remitirá dentro del periodo de resguardo una copia del mismo junto con la copia de los resultados del laboratorio a la AGENCIA para su integración en las estadísticas de mantenimiento y estado físico de la vía. El registro contendrá los datos de ubicación georreferenciada con coordenadas, descripción de la vía y kilómetro donde fue obtenida como se indica en el APENDICE 2, fecha, etiquetas correspondientes de los sacos, fechas de envío a laboratorio y un reporte fotográfico que de evidencia de la actividad realizada.

**1.4.8.** La AGENCIA, podrá exigir aleatoriamente en el tiempo, la realización de tomas de muestras y envíos a laboratorio como parte de la verificación que practique en ejercicio de sus atribuciones. Así mismo, podrá solicitar la aplicación de pruebas de laboratorio aleatorias sobre las muestras almacenadas en los laboratorios o en los almacenes de la concesionaria. Además, podrá verificar los registros de muestras y los resultados de los laboratorios.

**1.4.9.** Se debe restituir y compactar manualmente el balasto extraído en este tipo de recogida de muestras, aportar si es necesario, más cantidad de las zonas laterales de la vía.

## **1.5. Procedimiento de muestreo durante la ejecución de una obra de mantenimiento al balasto ferroviario.**

**1.5.1.** Se aplicará lo establecido en 1.3.

## **2. Revisión, pruebas y aceptación de conformidad del balasto**

### **2.1. Generalidades**

**2.1.1.** Las muestras de balasto obtenidas en el apartado anterior, y que son remitidas a laboratorio según se establece en 1.2.3, 1.3.6 y 1.4.6, serán sometidas a las pruebas que se presentan en la Tabla 5, con excepción de la Prueba L, según se establece en 2.14.6.1



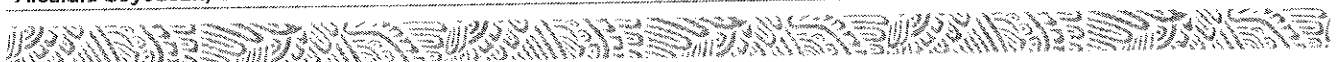


Prueba	Norma mexicana de referencia
A. Análisis petrográfico	NMX-C-265-ONNCCE-2010
B. Difracción de rayos X	Sin referencia
C. Prueba de granulometría (análisis granulométrico)	NMX-C-077-ONNCCE-2019.
D. Porcentaje de material que pasa por la malla No. 200	NMX-C-084-ONNCCE-2018
E. Trozos de Arcilla y partículas desprendibles	NMX-C-071-ONNCCE-2004
F. Degradación (LAA)	NMX-C-196-ONNCCE-2010
G. Densidad, volumen específico gravitacional y absorción de agua	NMX-C-164-ONNCCE-2014
H. Intemperismo acelerado (Sulfato de Sodio en 5 ciclos)	NMX-C-075-ONNCCE-2018
I. Partículas alargadas y/o planas	Sin referencia
J. Espesor mínimo de elementos granulares	Sin referencia
K. Resistencia a la compresión	Sin referencia
L. Radar de penetración terrestre (GPR)	Sin referencia

Tabla 5. Lista de pruebas de balasto.

**2.1.2.** Las muestras obtenidas durante el desarrollo de la fuente potencial como lo señala el subinciso 1.2 se someten a las pruebas: A (si aplica), B, F, G, H y K para evaluar la conformidad del material. En esta etapa de proyecto las pruebas se deben realizar como mínimo una (1) vez por cada banco o fuente potencial.

**2.1.3.** Las muestras obtenidas durante el autocontrol de la producción del balasto, durante la construcción de la infraestructura de vía y durante la ejecución de una obra de mantenimiento (cuando aplique) como lo señala el subinciso 1.3 se someterán a las pruebas: C, D, E, G, I y J. En esta etapa de proyecto, las frecuencias mínimas de realización de pruebas se señalan en el subinciso 1.3.2. En el caso de la prueba F se deberá realizar a cada 90,000 m<sup>3</sup> y la prueba H a cada 270,000 m<sup>3</sup>. Lo anterior se ilustra en la Tabla 6:







Prueba	Frecuencia
C, D, E, G, I y J	Según 1.3.2
F	Cada 90,000 m <sup>3</sup>
H	Cada 270,000 m <sup>3</sup>

Tabla 6. Frecuencias de las pruebas a realizar al balasto durante el autocontrol y construcción de la infraestructura.

- 2.1.4.** Las muestras de balasto obtenidas durante la vida útil del proyecto como lo señala el subinciso 1.4 se someterán a las pruebas A (si aplica), B, C, D, E, F, G, H e I; u otro que la AGENCIA determine.
- 2.1.5.** La AGENCIA podrá realizar la prueba L si así lo decide. El concesionario podrá realizar la misma prueba en caso de contar con el equipo y personal acreditado por una Entidad de Acreditación.
- 2.1.6.** Si la AGENCIA así lo solicita se deberá aumentar la frecuencia de las pruebas. Ésta puede optar, además de lo señalado en los subincisos 1.2.4, 1.3.10 y 1.4.8, por realizar cualquiera de las pruebas mencionadas en la Tabla 5 por motivos de inspección y verificación, en cualquier etapa del proyecto.
- 2.1.7.** Además de los procedimientos descritos en estos lineamientos, se tomarán como fundamento las Normas de referencia indicadas en la Tabla 5, o los que les sustituyan.
- 2.1.8.** Las pruebas de laboratorio señaladas en la Tabla 5, deberán ser realizadas por un laboratorio que tenga un documento de Evaluación de la Conformidad del presente lineamiento, de acuerdo con lo establecido en el apartado 3.9.2. El personal del laboratorio deberá ser acreditado por una Entidad de Acreditación. Los equipos empleados deberán estar certificados y calibrados por El Centro Nacional de Metrología y Normalización, y deberán ser aprobados por la AGENCIA. Deberá instalarse y equiparse un laboratorio con el equipo menor en el sitio de los trabajos, y otro con el equipo mayor que estará localizado en el poblado más cercano debidamente comunicado. El laboratorio deberá guardar el registro correspondiente de cada una de las pruebas en una bitácora que deberá resguardarse como mínimo un año.

## 2.2. Análisis petrográfico.

- 2.2.1.** Los estudios petrográficos abordan la descripción física en términos visuales de las rocas, mediante la microscopía. Estos estudios ofrecen una valiosa información relativa a la naturaleza de sus componentes (esencialmente minerales), sus abundancias, formas, tamaños y relaciones espaciales, lo cual, permite clasificar la roca y establecer ciertas condiciones cualitativas o semicuantitativas de formación, así como posibles procesos evolutivos. Se deberá realizar este estudio por parte del responsable durante el desarrollo de la fuente potencial, según lo definido en la Tabla 1.
- 2.2.2.** Para ampliar la información del balasto, se deberá analizar su naturaleza pétreo por análisis microscópico de lámina delgada, con clasificación de la roca mediante sus





porcentajes de fases minerales, texturas y estructuras, así mismo, en el caso de materiales de origen sedimentario se deberá considerar de especial interés la identificación de partículas cementantes.

**2.2.3.** Se deberá realizar un examen petrográfico, de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-C-265-ONNCCE, el cual deberá contener como mínimo:

- Examen físico, que indique la información sobre aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca.
- Clasificación petrográfica de la roca.
- Descripción microscópica básica de la misma (mineralogía, textura, estructura, etc.)
- Alteración de los granos minerales y del cemento en caso de presentarse.
- Indicación sobre la presencia de partículas minerales de baja densidad y/o elevada absorción de agua, que puedan ser susceptibles de sufrir daños por la acción del hielo-deshielo.
- Otras características observadas, así como fotografías de las láminas analizadas.

**2.2.4. Criterio de aceptación de la prueba.** Se aceptarán como balasto en combinación con cualquier tipo de durmiente, las rocas clasificadas en el análisis petrográfico de las muestras, como: Granito, Basalto y Cuarzita. Para la vía general de comunicación identificada como FA y sus derivaciones, así como para las vías ubicadas en los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, por carecer de bancos de material de origen ígneo, se aceptarán como balasto las rocas clasificadas como dolomías (rocas dolomíticas) en combinación con durmientes de concreto o madera.

**2.2.4.1.** No se admite Escoria como material para balasto en nuevos proyectos ni en el mantenimiento de vías existentes.

**2.2.4.2.** Las muestras empleadas en el análisis petrográfico de las muestras en caso de ser usadas como balasto, serán resguardadas en la fuente de producción hasta 3 meses posteriores a la fecha de conclusión del contrato de suministro que dio origen a esta prueba y, el resultado del análisis será remitido a la AGENCIA junto con el primer informe enviado en cumplimiento de los puntos 1.3.7, 1.3.8 y 1.4.7.

## 2.3. Difracción de rayos X.

**2.3.1.** Para el análisis de difracción por rayos X se utiliza un equipo especializado para este fin; en primer lugar, se determina la composición mineralógica de la muestra global mediante el análisis del difractograma obtenido del polvo. Posteriormente, una vez conocidos los minerales presentes, se hace una evaluación de la proporción semicuantitativa de cada uno de los minerales.

**2.3.2.** Las etapas de este análisis son:

- I. Preparación de muestras: Se debe triturar el material de balasto a analizar hasta que todo pase por la malla No 100. Mediante cuarteo se obtiene una muestra representativa de aproximadamente 100 gramos la cual debe de someterse a triturado, hasta obtener un polvo de tamaño de grano inferior a 63 micras (0.063 mm).





Aquellas rocas que en este estudio de difracción de rayos X presenten valores del volumen de mineral dolomita  $[CaMg(CO_3)_2]$  menores al 50%, no serán aceptadas como balasto.

## 2.4. Análisis granulométrico.

- 2.4.1.** Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico, por medio del cual, se puedan separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso que cada tamaño aporta al peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica, los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla, con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).
- 2.4.2.** El análisis granulométrico se llevará a cabo con los equipos necesarios para el procedimiento, que serán como mínimo, los siguientes:
- 2.4.2.1.** Balanzas: Las balanzas utilizadas en ensayos de agregados gruesos y finos, deben tener una lectura y una exactitud para agregado fino, legible a 0.1 g y exactitud de 0.1 g o 0.1 % de la masa de ensayo, cualquiera que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso. Para agregado grueso, o mezcla de agregado grueso y fino, legible y exactitud de 0.5 g o 0.1 % de la masa de ensayo, cualquiera que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- 2.4.2.2.** Tamices: La malla debe estar montada en un marco sólido construido de manera que se impida la pérdida de material durante el tamizado. Se recomienda que las mallas montadas en marcos más grandes que el marco estándar de 203.2 mm (8 in) de diámetro sean utilizados en el ensayo de agregados gruesos para reducir la posibilidad de sobrecargar los tamices.
- 2.4.2.3.** Agitador mecánico de tamices: Es un dispositivo tamizador mecánico, si se utiliza, debe producir un movimiento de los tamices que provoque que las partículas reboten, caigan o giren de manera que presenten diferentes orientaciones a la superficie de tamizado. La acción de tamizado en un período razonable de tiempo será tal, que se cumpla el criterio para el adecuado tamizado (criterio de suficiencia). Se recomienda el uso de un agitador mecánico de tamices, cuando el tamaño de la muestra de ensayo es de 20 kg o mayor, y puede ser usado para muestras de ensayo más pequeñas, incluyendo agregado fino. Un tiempo excesivo (más de 10 min. aproximadamente) para lograr un tamizado adecuado puede provocar una degradación inadecuada del material. El mismo agitador mecánico de mallas puede no ser práctico para todos los tamaños de muestras de ensayo, puesto que las grandes áreas de tamizado requeridas para un tamizado práctico de un agregado grueso de gran tamaño nominal pueden dar por resultado la pérdida de una porción de la muestra, si se usa para muestras pequeñas de agregado grueso o agregado fino.

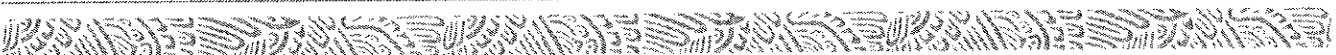




- II. Sobre esta fracción de polvo se corre la difracción de rayos X, para obtener el difractograma del polvo.
- III. Identificación de minerales: En el difractograma se identifican los minerales que componen la muestra debido a su pico característico. El procedimiento está basado en contrastar los valores de los espaciados (ángulo  $2\phi$  tomado desde la izquierda) y de las intensidades (amplitud del pico) de las tres líneas más intensas del diagrama, para poder diferenciar las sustancias cristalinas entre sí. Los minerales que componen la muestra pueden identificarse utilizando Powder Diffraction File (PDF), los cuales provienen de las librerías del The International Centre for Diffraction Data (ICDD®), o bien del que incluya el fabricante del equipo, los cuales deben ser capaces de identificar los minerales de interés de estos lineamientos de balasto ferroviario y caracterizar el tipo de material analizado. En estos archivos de datos cada sustancia tiene asignada una ficha de datos, en la que se tienen, entre otros, los valores de los espaciados ( $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$ ) de las tres líneas más intensas del diagrama de polvo, las intensidades relativas de cada línea, expresadas en porcentaje respecto a la línea más intensa, los datos cristalográficos, así como los datos ópticos.
- IV. Estimación semicuantitativa de la composición mineralógica: El análisis cuantitativo de los minerales presentes en una muestra se basa en considerar que el área integrada de un pico de mineral en una mezcla es proporcional a su concentración. La estimación semicuantitativa de los componentes mineralógicos se determina utilizando los "poderes reflectantes" correspondientes a cada uno de los minerales identificados, siendo el poder reflectante de un mineral la relación de intensidades de un efecto de difracción importante del mismo con relación a otro que se toma como referencia. El reparto porcentual entre los distintos minerales identificados se hace a partir de las áreas medidas, corregidas en cada caso mediante su poder reflectante. Se deben seguir los manuales del equipo utilizado para obtener correctamente esta estimación.
- V. El empleo de los poderes reflectantes conduce a la estimación cuantitativa de los componentes de una forma rápida y con un margen de error aproximado del 5%.

**2.3.3.** Se debe elaborar un informe que presente una explicación de la situación de la muestra, método seguido en la preparación de la muestra para el análisis, tipo y características del aparato utilizado. Se incluirán los diagramas o difractogramas obtenidos y una tabla con los minerales identificados junto a los datos de intensidad, espaciado y porcentaje semicuantitativo. También se deben incluir los puntos solicitados en el subinciso 2.2.3, los cuales se podrán obtener por el método de difracción de rayos X o, si el equipo lo impide, se obtendrán por un análisis petrográfico. Finalmente se dará una explicación de la interpretación de los resultados, comprendiendo los minerales identificados y sus porcentajes.

**2.3.4. Criterios de aceptación de la prueba.** La evaluación de la conformidad será como se establece en el apartado 2.2.4. Para el caso de dolomía (roca dolomítica), ésta se aceptará como balasto cuando tras la realización de un análisis por difracción de rayos X, presente un volumen del mineral dolomita  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$  mayor o igual al 50%.





- 2.4.9.** Se deben seleccionar los tamices con el rango de aberturas necesarias para obtener la información requerida para el material que va a ser ensayado, en el caso de balasto ferroviario estas aberturas de tamices serán mínimo: 76 mm (3 in), 63 mm (2 1/2 in), 51mm (2 in), 38mm (1 1/2 in), 31.5 mm (1 1/4 in), 25.4 mm (1 in), 19 mm (3/4 in), 12.7 mm (1/2 in), 9.5 mm (3/8 in), No 4, No 8; y cualquier otro necesario o adicional, para realizar de manera correcta la prueba y/o para ampliar los resultados granulométricos. Se deben utilizar tamices adicionales si se desea, o si son necesarias para proporcionar otra información, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Se deben acomodar los tamices en orden de tamaño de abertura decreciente, de arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior.
- 2.4.10.** El tiempo de tamizado manual o mecánico deberá ser el suficiente para asegurar la completa separación del material. Al usar un dispositivo tamizador mecánico éste debe producir un movimiento de los tamices tal, que provoque que las partículas reboten, caigan o giren de manera que presenten diferentes orientaciones a la superficie de tamizado.
- 2.4.11.** Se debe evitar la sobrecarga de material sobre un tamiz individual, siguiendo los siguientes métodos:
- Se debe insertar un tamiz adicional con una abertura intermedia, entre el tamiz que pueda sobrecargarse y el inmediatamente superior en el conjunto original de tamices.
  - Se debe dividir la muestra de ensayo en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Posteriormente, se deben sumar las masas de las porciones retenidas en un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de muestra en ese tamiz.
  - Se debe utilizar los tamices que tengan un marco de mayor tamaño y que proporcionen un área de tamizado mayor.
  - Cuidar que los tamices no se saturen con el material retenido. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4.75 mm (malla No.4), la cantidad retenida en cualquier tamiz al completar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m<sup>2</sup> del área superficial de tamizado. Para tamices con aberturas de 4.75 mm (malla No. 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no debe exceder el producto de 2.5 x (abertura del tamiz, en mm) x (área efectiva de tamizado, en m<sup>2</sup>). En ningún caso la cantidad retenida debe ser tan grande que provoque una deformación en la tela del tamiz.
- 2.4.12.** Se deberá verificar la suficiencia del tiempo de tamizado. No más del 1 % en masa del material retenido en cualquier tamiz individual, puede pasar ese tamiz, durante un minuto adicional de tamizado manual continuo, realizado de la siguiente manera: se debe sostener un tamiz individual, con una charola y tapa cómodamente ajustada, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Se debe golpear el lado opuesto del tamiz bruscamente y con un movimiento ascendente contra el talón de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto aproximadamente; se debe girar el tamiz alrededor de un sexto de revolución en intervalos de cada 25 golpes. Para determinar la





**2.4.2.4.** Horno: Un horno de tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

**2.4.3.** La curva granulométrica se determina mediante tamices de chapa con agujeros cuadrados. Los agregados se pueden clasificar en gruesos y finos; los agregados gruesos son todos aquellos que son retenidos por el tamiz No 4, y los finos son todos aquellos que pasan por este mismo tamiz.

**2.4.4.** Existen tres maneras de hacer el ensayo, la primera forma involucra solamente agregados finos; para este caso la masa de la muestra de ensayo, después del secado, debe ser mínimo de 300 g. La segunda forma es para el caso de que la muestra esté conformada por agregado grueso; en éste, la masa mínima de la muestra será de acuerdo con los parámetros indicados en la Tabla 7.

Tamaño nominal máximo (mm) (in)	Masa mínima de la muestra (kg) (lb)
10 (3/8)	2 (4)
13 (1/2)	4 (9)
20 (3/4)	8 (18)
25 (1)	12 (26)
40 (1 1/2)	16 (35)
50 (2)	20 (44)
65 (2 1/2)	25 (55)
75 (3)	45 (99)
90 (3 1/2)	70 (154)

Tabla 7. Tamaño mínimo de la muestra para la parte gruesa en la prueba de granulometría.

**2.4.5.** En el tercer caso, cuando la masa de la muestra de ensayo involucre una mezcla de tanto agregado grueso como agregado fino, que es el caso más común del balasto ferroviario, se utilizará la Tabla 7.

**2.4.6.** Cuando el tamaño de las muestras requeridos para agregado con tamaño nominal máximo de 50 mm o más grande impide la reducción conveniente de la muestra, debe ensayarse como una unidad, excepto, cuando se utilizan cuarteadores mecánicos grandes y agitadores de tamices grandes. Cuando tal equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar los incrementos de muestra y luego reducir la muestra a un tamaño de ensayo, se tiene como opción, conducir el análisis por tamices sobre un número de incrementos de muestra (aproximadamente iguales) para así cumplir con los requisitos de masa mínima de ensayo ya señalados.

**2.4.7.** La determinación de la exactitud del material más fino que la malla de 75 mm (No 200,) no puede ser obtenida sólo por el uso de este método. El método de ensayo descrito en la sección 2.5 Porcentaje de material que pasa por la malla No. 200, para material más fino que la malla de 75 mm por lavado, deberá ser realizado e incluido en los resultados granulométricos de este apartado.

**2.4.8.** Se debe secar la muestra de ensayo, a masa constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 9\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).





deberá incluir el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ), el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) y el módulo de finura (MF) en los resultados.

**2.4.19.** El coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$D_{60}$ = Es el diámetro correspondiente al 60% pasante, obtenido de la curva granulométrica.

$D_{10}$ = Es el diámetro correspondiente al 10% pasante, obtenido de la curva granulométrica y es denominado también tamaño efectivo.

**2.4.20.** El coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$D_{30}$ = Es el diámetro correspondiente al 30% pasante, obtenido de la curva granulométrica

**2.4.21.** Para ser empleado como balasto, la relación entre el volumen que pasa el tamaño máximo ( $D= 63 \text{ mm}$ ) y mínimo ( $d= 31,5 \text{ mm}$ ) deberá ser igual a 2.

**2.4.22.** Para ser empleado como balasto en vía principal, los resultados del análisis granulométrico deberán cumplir, de acuerdo con el requerimiento del proyecto, con alguna las Categorías 24, 25, 3, 4A, A y B con los límites indicado en la Tabla 8 En las zonas de proyecto donde se esperen asentamientos superiores a los asentamientos promedios esperados de todo el proyecto debido a la composición del suelo, se deberá emplear como balasto material con granulometría, de acuerdo con el requerimiento del proyecto, tipo 24, A o B. La granulometría de las categorías, 5 y 57 sólo se usarán para vías en patios y talleres. Además, los materiales de la granulometría 25, estarán restringidos y deberán aprobar la prueba indicada en el apartado 2.11 Espesor mínimo de los elementos granulares.





suficiencia del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4), se debe limitar el material en el tamiz a una simple capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento de tamizado descrito sea imposible de realizar, se deben utilizar los tamices de 203 mm (8 in) de diámetro para verificar la suficiencia del tamizado.

- 2.4.13.** A menos que se utilice un agitador mecánico de mallas, se debe tamizar manualmente las partículas mayores de 75 mm (3 in) determinando la abertura menor de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Se debe iniciar el ensayo con el tamiz de abertura más pequeña a ser utilizado. Si es necesario, hacer girar las partículas, con el fin de determinar si pasarán por una abertura en particular; sin embargo, no se deben forzar las partículas para pasar por una abertura.
- 2.4.14.** Las fracciones retenidas por cada tamiz deberán pesarse en balanza con precisión de un (1) gramo.
- 2.4.15.** Se debe determinar la masa de cada incremento de tamaño en una balanza de acuerdo con los requisitos especificados anteriormente lo más cercano al 0,1% de la masa total seca de la muestra original. La masa total del material después de pasar por los tamices debe ser lo próximo o parecida a la masa original del espécimen colocado en los tamices. Si las cantidades difieren por más de un 0,3 %, basado en la masa seca de la muestra original, los resultados no deben ser usados para propósitos de aceptación.
- 2.4.16.** Si la muestra de ensayo ha sido previamente ensayada de acuerdo con el método de ensayo para partículas que pasan por el tamiz No. 200, agregar la masa de material más fino que la malla de 75  $\mu$ m (No. 200) determinada por ese método de ensayo a la masa que pasa la malla de 75  $\mu$ m (No. 200) por tamizado en seco de la muestra por el presente método.
- 2.4.17.** Se deben calcular los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales o los porcentajes de las varias fracciones por tamaño, al 0.1% más cercano sobre la base de la masa inicial seca total de la muestra de ensayo. Si la misma muestra de ensayo ha sido previamente ensayada de acuerdo con el método de partículas más finas que la malla No. 200, se debe incluir la masa del material más fino que la malla 75  $\mu$ m (No. 200) por lavado en el cálculo del análisis por tamizado; y utilizar la masa seca total de la muestra de ensayo antes del lavado de acuerdo con el método de partículas más finas que la malla No. 200 como la base para calcular todos los porcentajes.
- 2.4.18. Criterios de aceptación o rechazo de la prueba.** Para la evaluación de la conformidad se deberá presentar un informe que incluya una gráfica curva, donde el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas, los diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, D85, etc. (El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente de la partícula y el subíndice -10, 30, 60, 85- se denota el porcentaje de material más fino, el porcentaje total de material que pasa en cada tamiz), el porcentaje total de material retenido en cada tamiz, porcentaje total retenido entre tamices consecutivos. Se debe informar los porcentajes al número entero más cercano, excepto si el porcentaje que pasa la malla de 75  $\mu$ m (No. 200) es menos del 10 %, en cuyo caso debe reportarse al 0,1 % más cercano. Así mismo se



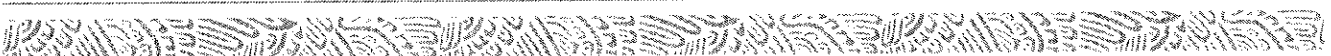




Tamaño nominal de abertura de la malla mm (in)	Porcentaje que pasa							
	Categoría Granulométrica							
	24	25	3	4A	5	57	A	B
76mm (3 in)	100						100	100
63mm (2 1/2 in)	90-100	80-100	100	100			100	97-100
51mm (2 in)		60-85	95-100	90-100			70-99	70-99
38mm (1 1/2 in)	25-60	50-70	35-70	60-90	100	100	30-65	30-70
31.5mm (1 1/4 in)							1-25	1-25
25.4mm (1 in)		25-50	0-15	10-35	90-100	95-100	0-5	0-5
19 mm (3/4 in)	0-10			0-10	40-75			
12.7mm (1/2 in)	0-5	5-20	0-5		15-35	25-60		
9.5 mm (3/8 in)		0-10		0-3	0-15			
No 4.		0-3			0-5	0-10		
No 8.						0-5		

Tabla 8. Límites granulométricos para cada categoría.

**2.4.23.** El resultado de granulometría del balasto ferroviario deberá ser tal, que se encuentre dentro de los rangos de las categorías granulométricas mostradas en la Tabla 8 y deberá verificarse colocando la curva granulométrica resultante en la gráfica granulométrica de la clasificación correspondiente, las cuales pueden observarse en las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Siendo que las clasificaciones 5 y 57 de balasto solo serán aceptadas para su uso en patios y talleres ferroviarios.



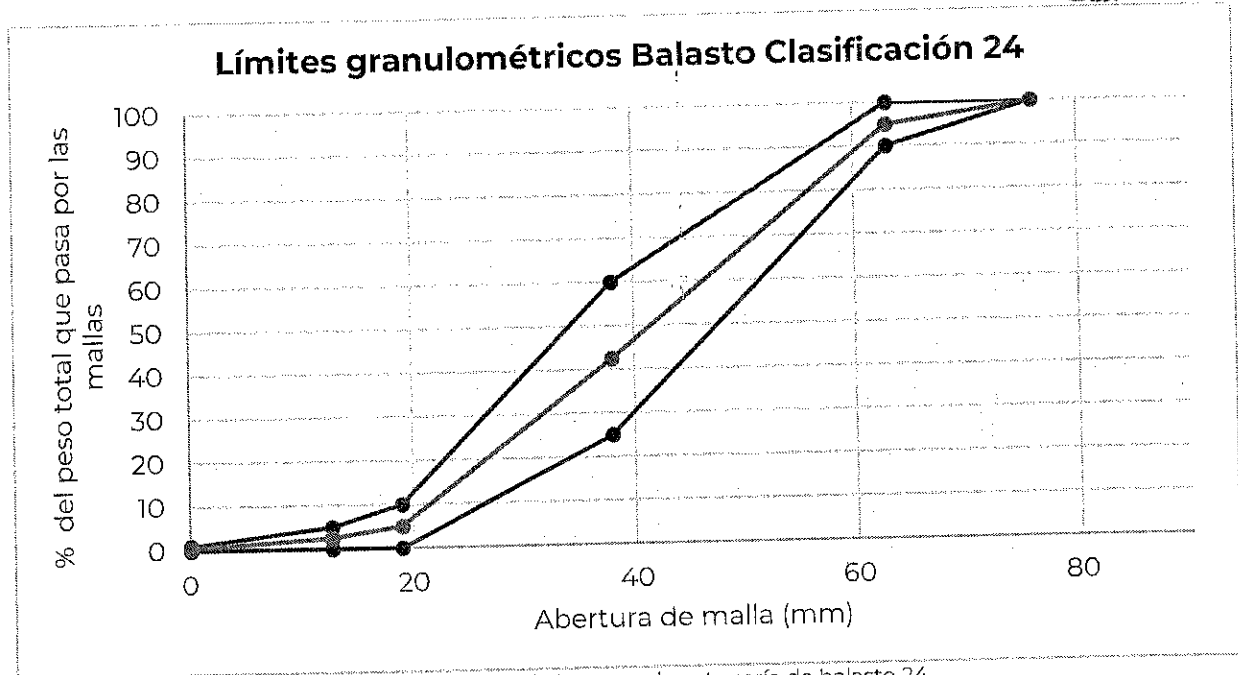


Figura 1. Límites granulométricos para la categoría de balasto 24

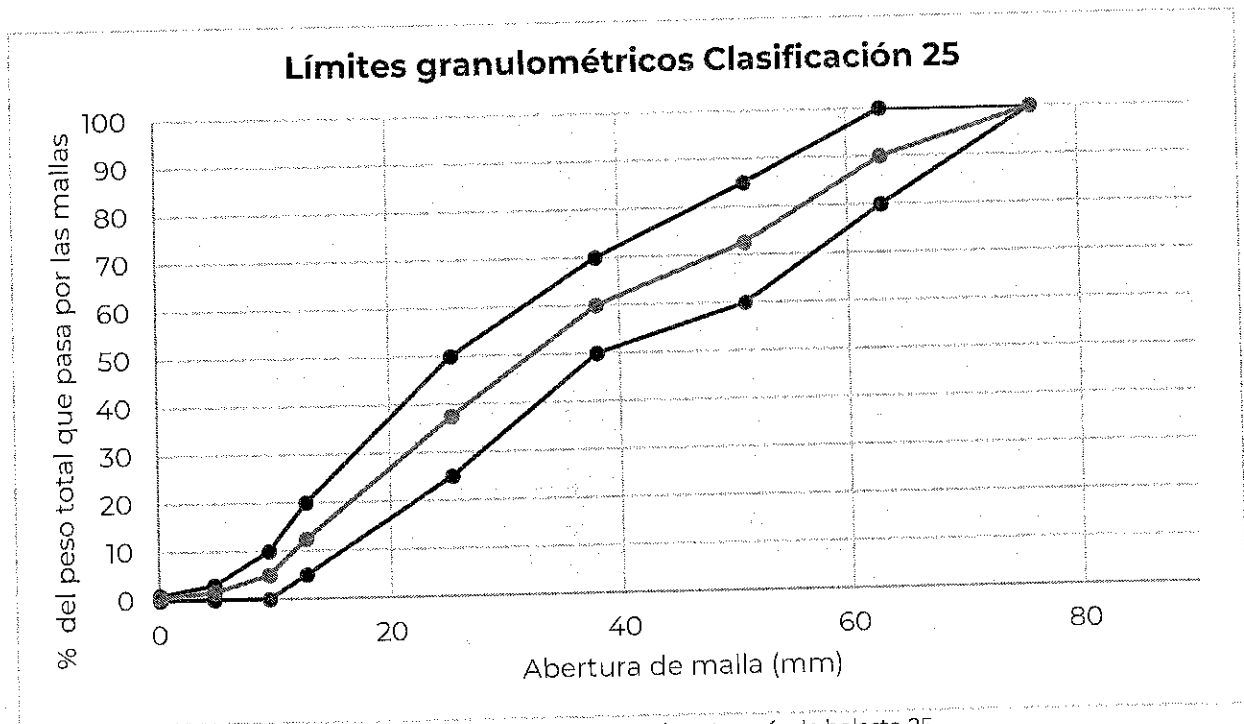


Figura 2. Límites granulométricos para la categoría de balasto 25.



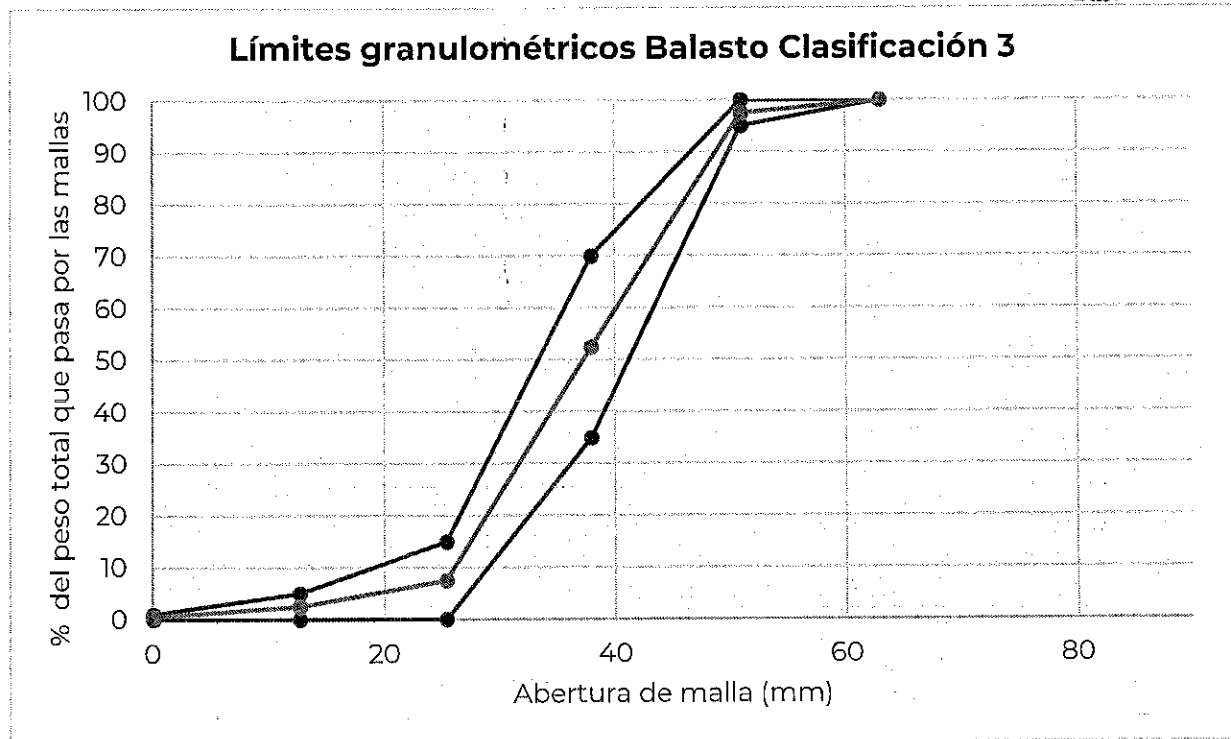


Figura 3. Límites granulométricos para la categoría de balasto 3.

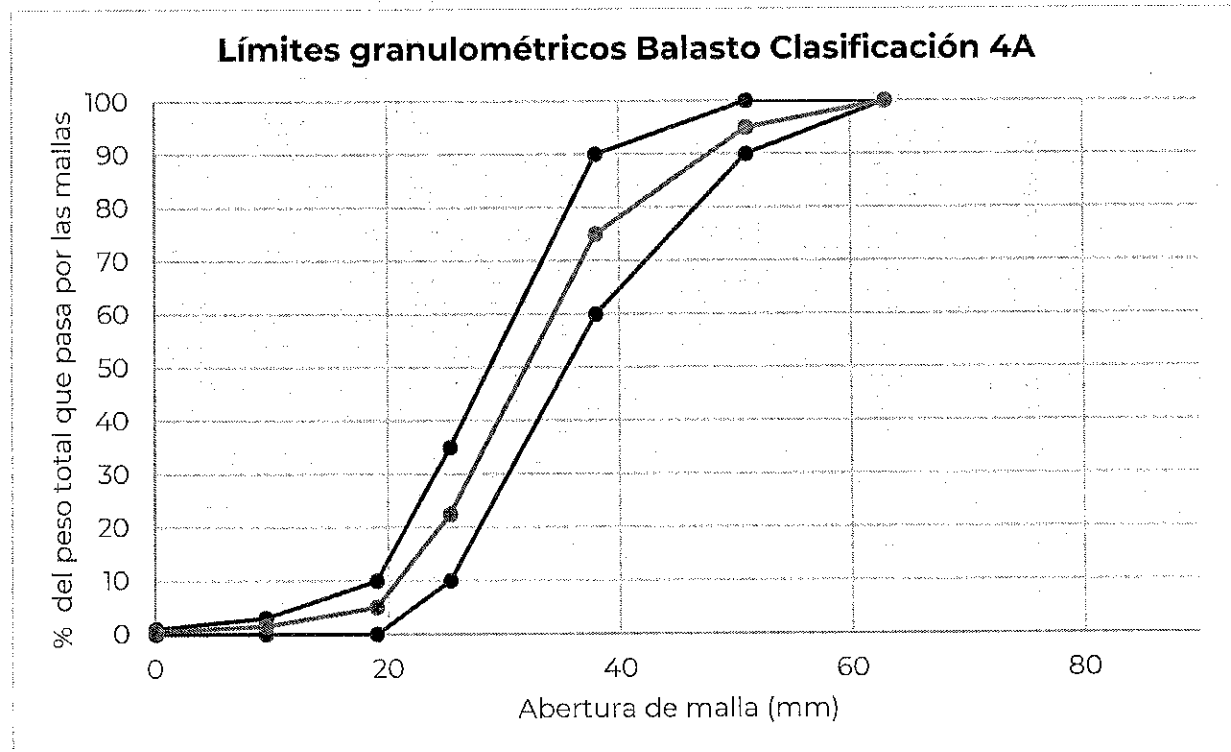


Figura 4. Límites granulométricos para la categoría de balasto 4A.



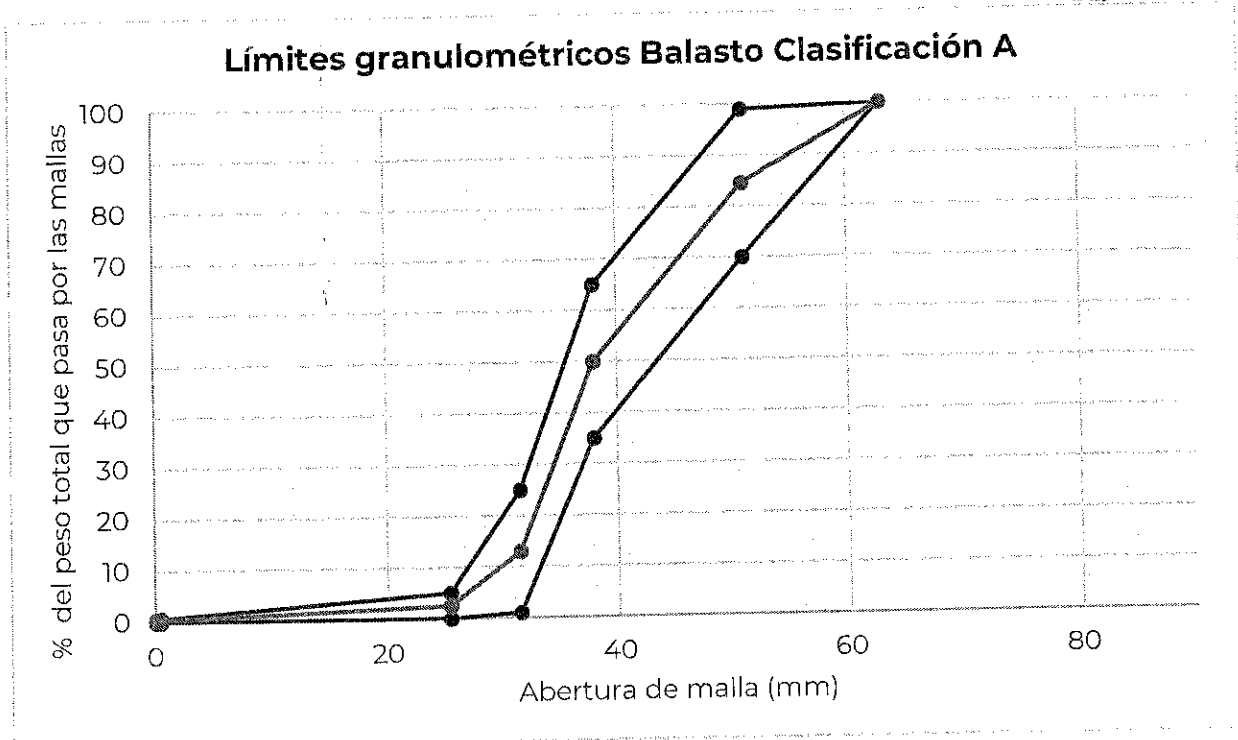


Figura 5. Límites granulométricos para la categoría de balasto A.

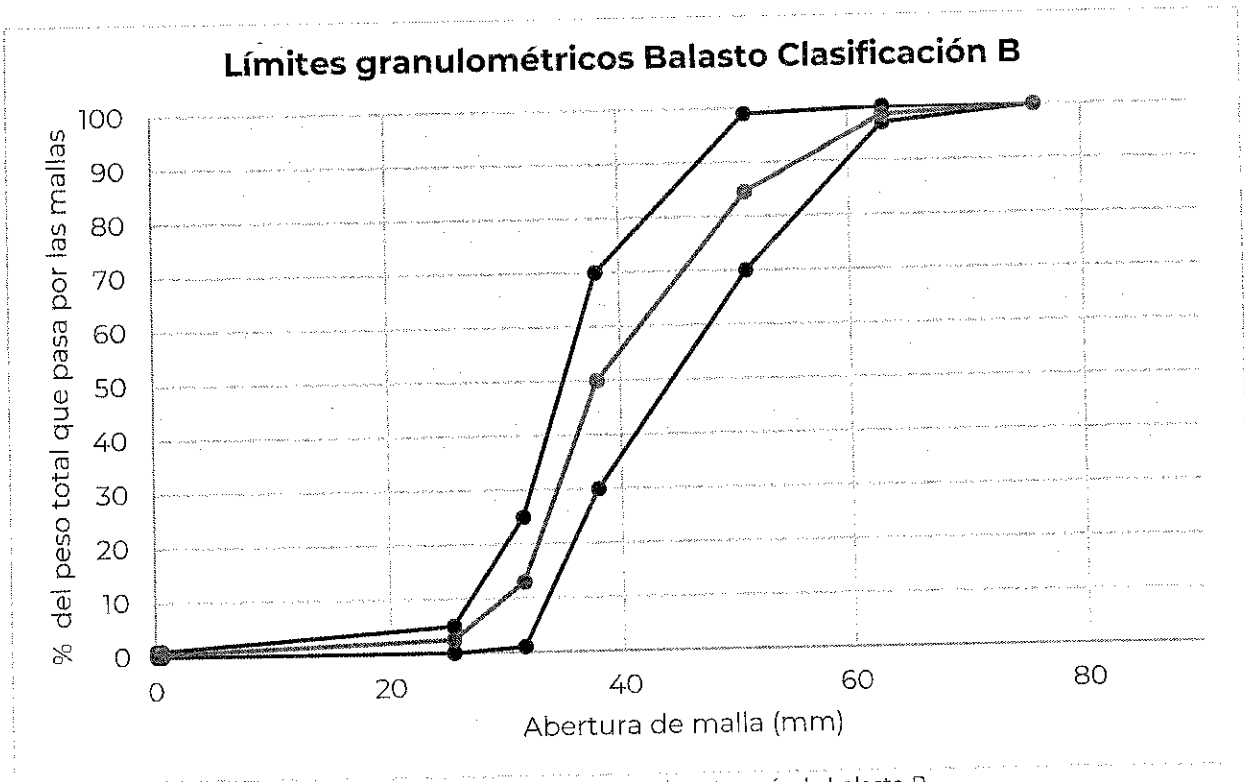


Figura 6. Límites granulométricos para la categoría de balasto B.





- 2.5.5.** Secar la muestra a masa constante a una temperatura de 383 K +/- 5°K (110 +/- 5°C) y determinar su masa con una aproximación de 0.1 %.
- 2.5.6.** Una vez determinada la masa, se coloca en el recipiente y se agrega agua cubriendo totalmente la muestra. Puede adicionarse un detergente casero líquido en la primera carga de agua para disminuir el número de lavados; esto debe anotarse en el reporte de resultados.
- 2.5.7.** Se agita con la mano para completar la separación de todas las partículas más fina que la criba 0.075 mm (No.200) de las partículas gruesas y llevar el material más fino a que quede en suspensión y posteriormente se vierte el agua que contiene los sólidos suspendidos.
- 2.5.8.** Agregar agua sin detergente repitiendo el procedimiento antes descrito, tantas veces como sea necesario para lograr que el agua de lavado se observe limpia y el agregado no muestre residuos de detergente en caso de haberse empleado.
- 2.5.9.** Incorporando todo el material que haya escapado del recipiente y se haya retenido en las cribas, a la muestra lavada, aplicando si es necesario un chorro de agua sobre el reverso de las mismas. Sacar la muestra lavada hasta masa constante, a una temperatura de 383 +/- 5K (110 +/- 5°C) y determinar su masa con una aproximación del 0.1 % de la misma.
- 2.5.10.** Se calcula la cantidad de material que pasa la malla de No. 200 por lavado de la siguiente ecuación:

$$A = \left( \frac{B - C}{B} * 100 \right) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

A = porcentaje de material más fino que la malla No. 200 retiene.

B = masa seca de la muestra original, g.

C = masa seca de la muestra después de lavado, g.

- 2.5.11. Criterios de aceptación de la prueba.** Se deberá entregar un informe que contenga el porcentaje de material más fino que el tamiz No. 200 por lavado, aproximado al 0.1%. Serán aceptables los resultados en los que el porcentaje que pasa no sea mayor que los indicados en la Tabla 10 para las distintas categorías granulométricas.





## 2.5. Porcentaje de material que pasa por la malla No. 200.

**2.5.1.** En este método de ensayo el agregado grueso partido estará limpio de partículas finas y polvo procedente de su desintegración o de elementos granulares del suelo. El polvo actúa como lubricante, en especial cuando el balasto está húmedo, lo cual aminora el coeficiente de fricción de las partículas de éste y produce asentamientos. Para evaluar la cantidad de partículas finas y finos (polvo) que se encuentran en las muestras, se deberán realizar los ensayos siguientes en concordancia con los estándares internacionales de este procedimiento.

**2.5.2.** La muestra de agregados se lava por agitación y el agua que contienen los materiales disueltos y en su suspensión, se separa por decantación, pasándola por la criba 0.075 mm (No. 200). La pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como por ciento de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje del material más fino que la criba 0.075 mm (No.200) obtenida por lavado.

**2.5.3.** Utilizando una muestra final de acuerdo con lo establecido en la Tabla 1 del apartado 1.1, se deberá escoger una muestra específica para este ensayo en función del tamaño máximo nominal de sus partículas obtenido del análisis granulométrico indicado en 2.4 El tamaño de esta muestra específica será de acuerdo con la Tabla 9.

Tamaño máximo del agregado	Masa en (g)
2.36 mm (No.8)	100
4.75 mm (No.4)	500
9.5 mm (3/8")	2000
19.0 mm (3/4")	2500
38.0 mm (1 1/2") o Mayores	5000

Tabla 9. Tamaño de la muestra específica mínima para la prueba de la malla No. 200.

**2.5.4.** Los equipos y materiales necesarios para el procedimiento serán mínimo los siguientes:

- Balanza: Una balanza o pesa que marque con una precisión de 0.1 gr o 0.1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- Tamices: Un juego de dos tamices estándar, el más bajo de 75 mm (No 200) y el superior de 1.18 mm (No 16).
- Recipiente: Un recipiente o vasija de tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y que permita agitar vigorosamente el contenido sin que se pierda parte de la muestra o del agua.
- Horno: Un horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- Agente humectante: Cualquier agente dispersante (como detergente para lavavajillas líquido), que promueva la separación de las partículas finas.





TIPO DE BALASTO	CLASE DE VÍA	CATEGORÍA GRANULOMÉTRICA FINOS (POLVO)							
		24	25	3	4A	5	57	A	B
Granito, Basalto y Cuarzita	Clase 1 a 5 <sup>1</sup>	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
	Clase 6 <sup>2</sup>	1.00%	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	1.00%
Dolomías (rocas dolomíticas) y calizas con durmientes de madera en patios, laderos y vías secundaria	Clase 1 a 5	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
	Clase 6 <sup>3</sup>	1.00%	1.00%	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	1.00%
Dolomías (rocas dolomíticas) en vías principal o secundaria con durmientes de concreto en Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.	Clase 1 a 6	1.00%	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	No se admite	1.00%

Tabla 10. Valores admisibles para la prueba del porcentaje que pasa la malla No. 200.

**2.6. Trozos de arcilla y partículas desprendibles.**

**2.6.1.** Este método de ensayo cubre la determinación aproximada de grumos de arcilla y partículas desprendibles en agregados. El agregado analizado para este método de ensayo debe consistir en el material que queda después de la ejecución del ensayo de lavado realizado de acuerdo con la prueba 2.5 Porcentaje de material que pasa por la malla No. 200.

**2.6.2.** El agregado será secado sustancialmente a peso constante; a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).

**2.6.3.** La muestra de ensayo del agregado fino consistirá en partículas más gruesas que la malla No. 16 (1.18 mm) y deberá pesar no menos de 25 g. La muestra de ensayo del agregado grueso será separada en diferentes tamaños, usando las siguientes mallas:

<sup>1</sup> Las definidas en la tabla 1 "Velocidad máxima de operación de los trenes" de la NOM-003-ARTF-2019, Sistema ferroviario-Seguridad-Clasificación y especificaciones de vía.

<sup>2</sup> Clase 6: Aquella con velocidad máxima de operación de hasta 177 km/h. Clases superiores: Son aquellas con velocidades máximas de operación mayores de 177 km/h hasta 322 km/h.

<sup>3</sup> Al reducir la presencia de material fino al inicio de la vida del balasto se permite una mayor durabilidad de este, ya que el hacerlo fomenta la eliminación y postergación del desprendimiento de arcillas cementantes que pudieran estar atrapadas en rocas de balasto sedimentario, aspecto de especial importancia en vías de clase mayores a 5 donde la alta frecuencia de paso aumenta la vibración y desgaste de las partículas de balasto con el paso del tiempo.



4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 in), 19.0 mm (3/4 in y 37.5 mm (1 1/2 in). La muestra de ensayo del agregado grueso deberá pesar no menos que los valores indicados en la Tabla 11.

Tamaño de partículas que conforman la muestra de ensayo	Peso mínimo de la muestra de ensayo (g)
4.75-9.5 mm (No. 4 a 3/8 in)	1000
9.5 a 19 mm (3/8 in a 3/4 in)	2000
19 a 37.5 mm (3/4 in a 1 1/2 in)	3000
Mayores de 37.5 mm (1 1/2 in)	5000

Tabla 11. Tamaño de muestra específica mínima para el ensayo de arcilla.

**2.6.4.** Se deberán emplear como mínimo, los siguientes materiales:

- Balanza: Una balanza o báscula con precisión dentro de 0.1% del peso de la muestra de ensayo en algún punto dentro del rango de uso.
- Recipientes: Recipientes resistentes de un tamaño y forma que permita el extendido de la muestra en el fondo, en una capa delgada.
- Mallas: Se hará uso de tamices de diversos tamaños como se requiera.
- Horno de Secado: Un horno que provea circulación libre de aire y capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).

**2.6.5.** Se debe extender la muestra de ensayo anteriormente pesada, en una capa delgada en el fondo del recipiente y cubrir con agua destilada. Mantener así por un periodo de 24 +/- 4 horas.

**2.6.6.** Rodar y apretar cada partícula entre el dedo pulgar y el índice, intentando quebrarlas en pequeños tamaños. No usar las uñas para romper las partículas, ni presionar las partículas sobre superficies duras, ni otra forma no indicada. Cualquier partícula que pueda ser quebrada al presionar con los dedos, en finos removibles por tamizado húmedo será clasificada como grumo de arcilla o partícula desmenuzable.

**2.6.7.** Después que todos los grumos de arcilla y partículas desmenuzables han sido quebradas, separar los detritos del remanente de la muestra por tamizado húmedo sobre las mallas prescritas en la Tabla 12.







Tamaño de partículas que conforman la muestra de ensayo	Tamaño de la malla para remover residuos de grumos de arcilla y partículas desmenuzables
Agregado fino (retenido en la malla No. 16)	850 mm (No. 20)
4.75-9.5 mm (No. 4 a 3/8 in)	2.36 mm (No. 8)
9.5 a 19 mm (3/8 in a 3/4 in)	4.75 mm (No. 4)
19 a 37.5 mm (3/4 in a 1 1/2 in)	4.75 mm (No. 4)
Mayores de 37.5 mm (1 1/2 in)	4.75 mm (No. 4)

Tabla 12. Tamaño de malla que deben emplearse para los remanentes.

- 2.6.8.** Para desarrollar el tamizado húmedo, se hace pasar agua sobre la muestra a través del tamiz, agitando el tamiz manualmente, hasta que todo el material de menor tamaño haya sido removido.
- 2.6.9.** Remover cuidadosamente del tamiz las partículas retenidas y secar a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ), permitiendo enfriarse y pesar con aproximación de 0.1% del peso de la muestra de ensayo.
- 2.6.10.** Una vez finalizado el proceso, se realizará el cálculo de este parámetro de la siguiente manera:

$$P = \left( \frac{M - R}{M} \right) * 100$$

Ec. 5

Donde:

P = porcentaje de trozos de arcilla y partículas desprendibles.

M = masa de la muestra de ensayo (para el agregado fino la masa de la porción más gruesa que pasa por un tamiz de 1.18 mm.

R = masa de las partículas retenidas en el tamiz designado para ese tamaño de partículas.

- 2.6.11.** Para agregados gruesos, el porcentaje de grumos de arcilla y partículas desprendibles será un promedio basado en los porcentajes de grumos de arcilla y partículas desprendibles en cada tamaño de tamiz por fracción del peso, de acuerdo con la graduación de la muestra original antes de la separación o, de preferencia, la graduación promedio del suministro representado por la muestra. Podría ser que el agregado contenga menos del 5 % de cualquiera de los tamaños especificados en la tabla partículas-malla, este tamaño no será ensayado, pero, para propósitos de cálculo el promedio pesado será considerado que contiene el mismo porcentaje de grumos de arcilla y partículas desprendibles como el tamaño próximo superior o próximo inferior, cualquier caso que se presente.

- 2.6.12. Criterios de aceptación de la prueba.** El porcentaje de trozos de arcilla y partículas desprendibles se considerará como aceptable si representa el 0.5% total de la muestra.





## **2.7. Resistencia a la fragmentación (desgaste) Los Ángeles (LAA). (Degradación de minerales).**

**2.7.1.** Este método de ensayo es una medida de la degradación de los áridos minerales de granulometría estándar que proviene de una combinación de acciones como abrasión o desgaste, impacto y trituración, efectuadas en un tambor de acero que contiene 12 esferas de acero. A medida que el tambor gira, una placa recoge la muestra y las esferas de acero, las traslada hasta el lado opuesto del tambor donde las deja caer, creando un efecto de impacto y trituración. Luego el contenido gira dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que la placa toma la muestra y las esferas de acero y el ciclo se repite. Después de un determinado número de revoluciones, el contenido es retirado del tambor y la porción de áridos es tamizada para medir la degradación como porcentaje de pérdida.

**2.7.2.** Este método de ensayo ha sido ampliamente empleado como indicador de la calidad relativa de diversas fuentes de balasto que poseen una composición mineral similar. Los resultados no permiten hacer comparaciones válidas entre fuentes con origen, composición o estructura distinta. Esta prueba no es únicamente necesaria al momento de prospectar un banco de material y durante el suministro de este en la etapa de obra o reparación, sino durante la vida útil del proyecto para conocer las condiciones del material.

**2.7.3.** Se deben emplear como mínimo, los siguientes materiales y equipo:

**2.7.3.1.** Máquina Los Ángeles. La máquina debe ser accionada y balanceada de manera que mantenga una velocidad periférica uniforme (es muy posible que el amarre o deslizamiento del mecanismo impulsor proporcione resultados de ensayos que no sean duplicados por otras máquinas Los Ángeles, que producen velocidades periféricas constantes). Si el ángulo es usado como placa, la dirección de rotación deberá ser tal que la carga sea captada en la superficie externa del ángulo. Deberá existir evidencia de su calibración de velocidad.

**2.7.3.2.** Tamices: Se hará uso de tamices de diversos tamaños como se requiera.

**2.7.3.3.** Balanza: Una balanza o pesa con una precisión de 0.1% de carga de ensayo dentro del rango requerido para este ensayo.

**2.7.3.4.** Carga: La carga consiste en 12 esferas de acero que promedian unos 47 mm (1 27/32 in) de diámetro aproximadamente. Cada esfera debe tener una masa entre 390 y 445 g. y una masa total de 5000 +/- 25 g. (se pueden encontrar rodamientos de acero de 46,038 mm (1 13/16 in) y 47,625 mm (1 7/8 in) de diámetro, con una masa de aproximadamente 400 y 440 gr respectivamente. También se pueden encontrar las esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 in) de diámetro, con una masa de aproximadamente 420 g. La carga puede consistir en una mezcla de estos tamaños, conforme a la tolerancia de la masa descrita en este procedimiento).

**2.7.4.** El procedimiento a seguir será el siguiente:



**2.7.4.1.** La muestra se deberá obtener de acuerdo con el procedimiento de cuarteo indicado en 1.3.4 y 1.3.5.

**2.7.4.2.** Lavar y secar en el horno la muestra reducida, a 110 +/- 5°C (230 +/- 9°F) hasta masa constante, separe en fracciones y vuelva a combinar se deberá obtener la granulometría más cercana que se ajuste a alguno de los tres rangos de granulometría tipo 1, 2 o 3 de la Tabla 13.

Tamaño de tamiz, mm (in) (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados (g)		
Pasa	Retenido	Rango granulométrico a obtener previo a la prueba*		
		1	2	3
73 (3)	63 (2 1/2)	2 500 +/-50		
63 (2 1/2)	50 (2)	2 500 +/-50		
50 (2)	37.5 (1 1/2)	5 000 +/-50	5 000 +/-50	
37.5 (1 1/2)	25 (1)		5 000 +/- 25	5 000 +/- 25
25 (1)	19 (3/4)			5 000 +/-25
	Total	10 000 +/- 100	10 000 +/- 75	10 000 +/- 50

\* El rango 1, 2 y 3 se refiere a las distribuciones granulométricas aceptables que se pueden obtener al momento de preparar la muestra de material para la prueba. Se podrá realizar la prueba con cualquiera de los rangos obtenidos.

Tabla 13. Composición de la masa de la muestra de la prueba de Los Ángeles según tipo de granulometría escogida por su máxima similitud a la granulometría natural.

**2.7.5.** Anote la masa de la muestra antes del ensayo aproximándola al gramo más cercano.

**2.7.6.** Coloque la muestra y la carga en la máquina de ensayo Los Ángeles y haga girar la máquina a una velocidad de 30 a 33 rev/min durante 1000 revoluciones.

**2.7.7.** Obtener una determinación de la uniformidad de la muestra en ensayo, determinando la pérdida después de 200 revoluciones. Esta pérdida debe ser determinada por tamizado en seco del material con el tamiz de 170 mm (No. 12), sin lavado. La razón de pérdida después de 200 revoluciones a la pérdida después de 1000 revoluciones no debería exceder el 0.20% para el material de dureza uniforme. Al realizar esta determinación, se debe tener cuidado en evitar la pérdida de cualquier porción de la muestra. Devuelva toda la muestra, incluido el polvo de fractura, a la máquina de ensayo para aplicarle las 800 revoluciones faltantes para completar el ensayo.

**2.7.8.** Concluidas las 800 revoluciones faltantes, descargue el material de la máquina y haga una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso de 1.70 mm (No. 12) Desechar el material que pasa la malla No. 12. Tamice la porción más fina en un tamiz de 1.70 mm siguiendo el proceso de tamizado del inciso 2.3.4

**2.7.9.** Análisis granulométrico. Lave el material más grueso que el tamiz de 1.70 mm y seque en el horno a 110 +/- 5°C (230 +/- 9°F) hasta masa constante y determine la masa final aproximándola al gramo más cercano.





**2.7.10.** Calcule la pérdida (diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de ensayo) como un porcentaje de la masa original de la muestra.

$$\text{Desgaste de los \u00c1ngeles (\%)} = \left( \frac{C - Y}{C} * 100 \right)$$

Ec. 6

Donde:

C(g) = Masa de la muestra inicial, con aproximaci\u00f3n de 0.1 g (sin decimales).

Y(g) = Masa de la muestra final, con aproximaci\u00f3n de 0.1 g (sin decimales).

**2.7.11. Criterios de aceptaci\u00f3n de la prueba.** Se deber\u00e1 entregar un informe que contenga la identificaci\u00f3n del balasto (fuente, tipo y tama\u00f1o m\u00e1ximo nominal, etc.), La designaci\u00f3n de la granulometr\u00eda seg\u00fan la Tabla 13 de este procedimiento utilizada para el ensayo y la p\u00e9rdida por abrasi\u00f3n e impacto de la muestra expresada al 1% m\u00e1s cercano en masa (LARB). La resistencia de la piedra, medida mediante el Coeficiente de Desgaste Los \u00c1ngeles (LARB), tendr\u00e1 un valor m\u00e1ximo que depender\u00e1 de la utilizaci\u00f3n y naturaleza del balasto y se considerar\u00e1 como aceptable de acuerdo con lo indicado en la Tabla 14. La tolerancia m\u00e1xima permitida vs. el valor indicado en la tabla ser\u00e1 de +2.00%.

CLASE DE V\u00cdA	Aplicaci\u00f3n	Origen del material			
		Granito y basalto	Cuarcita	Caliza	Dolom\u00eda (Roca dolom\u00edtica)
CLASE 5 e inferiores	V\u00edas primarias	\u2264 35%	\u2264 30%	No se admite	No se admite
	V\u00eda secundaria, patios y laderos	\u2264 35%	\u2264 30%	\u2264 30% (con durmiente de madera)	\u2264 30% (con durmiente de madera)
CLASE 6 y superiores	V\u00edas primarias	\u2264 18%	\u2264 18%	No se admite	No se admite
	V\u00eda secundaria, patios y laderos	\u2264 18%	\u2264 18%	No se admite	No se admite
CLASE 5 y 6 en V\u00edas ubicadas en Tabasco, Campeche, Yucat\u00e1n y Quintana Roo	V\u00edas primarias	\u2264 18%	\u2264 18%	No se admite <sup>4</sup>	\u2264 18%
	V\u00eda secundaria, patios y laderos	\u2264 22%	\u2264 22%	No se admite <sup>5</sup>	\u2264 22%

Tabla 14. Valores aceptables (LARB) para la prueba de Los \u00c1ngeles de acuerdo con su clasificaci\u00f3n petrogr\u00e1fica.

## 2.8. Densidad, volumen espec\u00edfico gravitacional y absorci\u00f3n de agua.

**2.8.1.** La absorci\u00f3n se refiere al aumento de la masa del agregado debido a la penetraci\u00f3n del agua en los poros de las part\u00edculas durante un periodo de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las part\u00edculas, expresado como un porcentaje de la masa seca. La densidad se refiere a la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro c\u00fabico. El volumen espec\u00edfico

<sup>4</sup> Ser\u00eda posible admitir en v\u00edas ya existentes Caliza con LAA \u226418 \u00fanicamente con durmiente de madera. Sin embargo, se ha estipulado no admitirlo para reducir el consumo de recursos forestales madereros.

<sup>5</sup> Ser\u00eda posible admitir en v\u00edas ya existentes Caliza con LAA \u226418 \u00fanicamente con durmiente de madera. Sin embargo, se ha estipulado no admitirlo para reducir el consumo de recursos forestales madereros.





gravitacional (también llamado densidad relativa o gravedad específica es la relación de la densidad del agregado a la densidad del agua destilada a una temperatura indicada, pudiendo ser esta densidad obtenida de dos maneras: la densidad relativa (gravedad específica) (SSD) que se usa si el agregado está húmedo, es decir, si ha cumplido su absorción, y a la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) (OD), se usa para los cálculos cuando el agregado se encuentra seco o se supone que esté seco.

**2.8.2.** Para esta prueba se deberán usar, al menos, los siguientes materiales y equipos:

**2.8.2.1.** Balanza: Un dispositivo para determinar la masa que es sensible, fácil de leer, y con una precisión de 0.05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango utilizado para esta prueba, o 0.5 g, cualquiera que sea mayor. La balanza deberá estar equipada con un aparato adecuado para la suspensión del recipiente de la muestra de agua desde el centro de la plataforma al centro de la balanza.

**2.8.2.2.** Contenedor de muestra: Una cesta de alambre de 3.35 mm (No 6) o malla más fina, o cubo de aproximadamente igual amplitud o altura, con una capacidad de 4 a 7 litros de 37.5 mm (1 1/2 in) tamaño nominal máximo de agregado o menor, y un recipiente más grande, según sea necesario para una prueba más grande de agregado de tamaño máximo. El recipiente deberá estar construido de manera que se evite el atrapamiento de aire cuando el recipiente está sumergido.

**2.8.2.3.** Tanque de agua: Un recipiente hermético al agua en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras que está suspendido debajo de la balanza.

**2.8.2.4.** Tamices: Tamices estándar según sea necesario

**2.8.2.5.** Horno: Un horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F)

**2.8.3.** Para obtener una muestra específica de ensayo de material para este tipo de prueba se parte de una muestra obtenida según el apartado 1.1 Tipos de muestreo, se desecha el material que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4) mediante un proceso de tamizado en seco. Pasar el material por el tamiz 4.75mm (No. 4) por tamizado en seco y lavado a fondo para eliminar el polvo u otros recubrimientos de la superficie.

**2.8.4.** No es permitido el ensayo en fracciones. Por ello, se debe verificar que la masa de la muestra específica sea superior a la indicada en la Tabla 15 de acuerdo con el tamaño nominal del agregado de la muestra general.





Tamaño máximo nominal, mm (in)	Masa mínima de la muestra de prueba, kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19 (3/4)	3 (6.6)
25 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Tabla 15. Masas que debe tener la muestra específica de densidad, volumen gravitacional u absorción de agua (M) según su tamaño de agregado.

**2.8.5.** El procedimiento de ensayo será el siguiente:

- 2.8.5.1.** Sumergir una muestra en agua durante 24 h +/- 4 h para llenar esencialmente los poros a temperatura ambiente. Se retira entonces del agua una franela absorbente húmeda de tamaño suficiente para secar toda la muestra sin fraccionarla, retirando únicamente el exceso de agua alrededor de las partículas, y no absorber agua de su interior. El proceso de secado deberá realizarse rápidamente para evitar que las partículas pierdan humedad de su interior. El agua se seca de la superficie de las partículas.
- 2.8.5.2.** Colocar el agregado sobre la balanza y registrar la masa de la muestra en condición saturada superficialmente seca. Registre ésta y las subsecuentes masas con una precisión de 0.5 g o 0.05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.
- 2.8.5.3.** Colocar la muestra en la canastilla y sumergir en el baño de agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C. Agitar la canastilla para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas. Registrar la masa aparente del agregado saturado en agua (sumergido).
- 2.8.5.4.** El volumen de la muestra se determina por el método de desplazamiento de agua.
- 2.8.5.5.** Finalmente, secar la muestra de ensayo a masa constante a una temperatura de 110 °C +/- 5° C, enfriar al aire a la temperatura del cuarto durante 1 a 3 horas, o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que es confortable de manejar (aproximadamente 50° C), y determine la masa.
- 2.8.5.6.** La muestra se seca en horno y se determina la masa para así, proceder a calcular los parámetros previamente mencionados siempre siguiendo el procedimiento y requerimientos marcados en la norma.





**2.8.5.7.** Estimar la Densidad Relativa (Gravedad Especifica):

$$\text{Densidad relativa (gravedad especifica) (SH)} = \left( \frac{A}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

A = masa al aire de la muestra seca al horno, g.

B = masa al aire de la muestra saturada superficialmente seca, g.

C = masa aparente de la muestra saturada en agua, g.

**2.8.5.8.** Determinar la Densidad Relativa (Gravedad Especifica) (SSS), en la base de agregado saturado superficialmente seco, así:

$$\text{Densidad relativa (gravedad especifica) (SSS)} = \left( \frac{B}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

**2.8.5.9.** Estimar la Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente), como sigue.

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad especifica aparente)} = \left( \frac{A}{(A - C)} \right) \quad \text{Ec. 9}$$

**2.8.5.10.** Calcular la Densidad (SH), en la base de agregado secado al horno, considerando como valor de la densidad del agua a 23° C los valores constantes de 997.5 Kg/m<sup>3</sup> y 62.27 lb/ft<sup>3</sup>:

$$\text{Densidad (SH), Kg/m}^3 = \left( \frac{997.5 A}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

$$\text{Densidad (SH), lb/ft}^3 = \left( \frac{62.27 A}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 11}$$

**2.8.5.11.** Estimar la Densidad (SSS), en la base de agregado saturado superficialmente seco como sigue:

$$\text{Densidad (SSS), Kg/m}^3 = \left( \frac{997.5 B}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 12}$$

$$\text{Densidad (SSS), lb/ft}^3 = \left( \frac{62.27 B}{(B - C)} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

**2.8.5.12.** Densidad aparente, calcular la densidad aparente como sigue:





$$\text{Densidad aparente, Kg/m}^3 = \left( \frac{997.5 A}{(A - C)} \right)$$

Ec. 14

$$\text{Densidad aparente, lb/ft}^3 = \left( \frac{62.27 A}{(A - C)} \right)$$

Ec. 15

**2.8.5.13.** Calcular el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción, \%} = \left( \frac{(B - A)}{A} \times 100 \right)$$

Ec. 16

**2.8.6. Criterios de aceptación de la prueba.** Para evaluar la conformidad de estos parámetros en el balasto se deberá elaborar un informe de los resultados que contenga densidad con precisión de 10 Kg/m<sup>3</sup> o 0.5 lb/ft<sup>3</sup>, densidad relativa (gravedad específica) resultados al más cercano 0.01 e indicar la base para la densidad o densidad relativa (gravedad específica) como (SH), (SSS), o aparente. Reportar los resultados de la absorción al cercano 0.1 %. Si los valores de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción fueron determinados sin secar previamente el agregado, anotar tal acción en el informe. Los valores aceptables deberán ser los indicados en Tabla 16.

	Origen del material					
	Granito	Basalto	Cuarcita	Calizas	Dolomías (rocas dolomíticas)	
	Clases 6 e inferiores				Clases 5 e inferiores	Clase 6
<b>ABSORCIÓN</b>	≤ 1%	≤ 1%	≤ 1%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%
<b>DENSIDAD RELATIVA</b>	MIN 2.6	MIN 2.6	MIN 2.6	MIN 2.6	MIN 2.65	MIN 2.65

Tabla 16. Valores aceptables para la absorción y la densidad relativa de acuerdo con la clasificación petrográfica y su aplicación.

**2.9. Resistencia a intemperismo acelerado (acción del sulfato de sodio o sulfato magnésico).**

**2.9.1.** Este método de ensayo investiga el grado de desintegración cuando son sometidos a la acción del tiempo o a la exposición a las condiciones climáticas reales. Es una prueba con procedimientos cíclicos que implica sumergir en sulfato de sodio o magnesio y secar los agregados y realizar análisis de tamices calculando el porcentaje de pérdida de cada tamaño de tamiz. La inmersión y el secado se consideran un ciclo completo.

**2.9.2.** Esta prueba puede ser omitida en los balastos que hayan obtenido un resultado menor de 0.5% en la prueba de absorción de agua realizada en el 2.8.

**2.9.3.** Se deberán, al menos emplear los siguiente insumos, materiales y equipo:

**2.9.3.1.** Tamices: Tamices estándar con aberturas cuadradas.







### 2.9.3.2. Recipientes especiales.

**2.9.3.3. Termómetros:** Se deberán utilizar termómetros para poder monitorear y regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

**2.9.3.4. Balanzas:** Para los áridos finos, con precisión de 0.1 g y para los áridos gruesos, con precisión de 0.1 % o 1 g.

**2.9.3.5. Horno de secado** capaz de calentar en forma continua a 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F) y la tasa de evaporación, en ese rango de temperatura, debe ser de al menos 25 g/h durante 4 horas, periodo en que las puertas del horno deben mantenerse cerradas. Esta tasa debe ser determinada por la pérdida de agua de cubetas bajas Griffin de 1L de capacidad, cada una con 500 g iniciales de agua a una temperatura de 21 °C +/- 2°C (70 °F +/- 3°F), colocadas en cada esquina y en el centro de cada bandeja del horno. El requisito de evaporación debe aplicarse a todas las ubicaciones de ensayo cuando el horno se encuentra vacío, salvo para las cubetas de agua.

**2.9.3.6. Hidrómetros** o una combinación adecuada de vasos de vidrio graduados y una balanza, capaces de medir la gravedad específica de la solución dentro de un rango de variación de +/- 0.001.

**2.9.3.7. Reactivos:** Sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) o cristalino ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato de magnesio anhidro ( $\text{MgSO}_4$ ) o cristalino ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ), agua destilada o desionizada.

### 2.9.4. Preparación de la solución de sulfato de sodio:

**2.9.4.1.** Prepare una solución saturada de sulfato de sodio disolviendo un grado USP o similar de la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30°C (77 °F a 86°F). Agregue sal suficiente ya sea en forma anhidra ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) o cristalina ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), para asegurar no sólo la saturación sino también un exceso de cristales cuando la solución esté preparada para ser usada en los ensayos. Agite bien la mezcla durante la adición de la sal y agite la solución durante intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, mantenga la solución cubierta durante todo el tiempo mientras no se necesite. Deje enfriar la solución a 21 °C +/- 1°C (70 °F +/- 2°F). Agite nuevamente y mantenga la solución a la temperatura designada durante por lo menos 48 horas antes de usarla. Antes de cada uso, rompa el trozo de sal, si se ha formado, en el recipiente, agite completamente la solución y determine la gravedad específica. Cuando se usa, la solución debe tener una gravedad específica de no menos de 1.151 y no más de 1.174. Elimine una solución decolorada o filtre y verifique la gravedad específica.

**2.9.4.2.** Para saturar la solución bastan 215 g de sal anhidra o 700 g de decahidrato por litro de agua a 22 °C (71.6°F). Sin embargo, como estas sales no son completamente estables y como es deseable que exista un exceso de sales



presente, se recomienda el uso de un mínimo de 350 g de sal anhidra o 750 g del decahidrato de sal por litro de agua<sup>6</sup>.

## 2.9.5. Preparación de la solución de sulfato de magnesio:

**2.9.5.1.** Prepare una solución saturada de sulfato de magnesio disolviendo un USP o un grado similar de la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30°C (77°F a 86°F). Agregue sal suficiente, ya sea en forma anhidra ( $MgSO_4$ ) o cristalina ( $MgSO_4 \cdot 10H_2O$ ) (sal Epsom), para asegurar no sólo la saturación sino también un exceso de cristales cuando la solución esté preparada para ser usada en los ensayos. Agite bien la mezcla durante la adición de la sal y agite la solución durante intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, mantenga la solución cubierta durante todo el tiempo mientras no se necesite. Deje enfriar la solución a 21 °C +/- 1°C (70 °F +/- 2°F). Agite nuevamente y mantenga la solución a la temperatura designada durante por lo menos 48 h antes de usarla. Antes de cada uso, rompa el trozo de sal, si se ha formado en el recipiente, agite completamente la solución y determine la gravedad específica. Cuando se usa, la solución debe tener una gravedad específica de no menos de 1.295 y no más de 1.308. Elimine una solución decolorada o filtre y verifique la gravedad específica.

**2.9.5.2.** Para saturar la solución bastan 350 g de sal anhidra o 1230 g de heptahidrato por litro de agua a 23 °C (73.4°F). Sin embargo, como estas sales no son completamente estables, siendo la sal hidrata la más estable de las dos, y como es deseable que exista un exceso de sales presente, se recomienda el uso de un mínimo de 1400 g de heptahidrato de sal por litro de agua.

**2.9.5.3.** Para la preparación de la solución de cloruro de bario al 5%, se disuelven 5 g de  $BaCl_2$  en 100 ml de agua destilada.

## 2.9.6. Se deberá seguir el siguiente procedimiento para esta prueba:

**2.9.6.1.** Separe la muestra en muestras separadas como fracción menor al tamiz No. 4 y mayor al tamiz No. 4. Al reportar los resultados se presentarán separadamente para la fracción de finos y la fracción de gruesos, entregando los porcentajes de las fracciones de tamaño fino y grueso en la granulometría inicial.

**2.9.6.2.** La muestra específica de finos para este ensayo debe pasar por el tamiz de 9.5 mm (3/8 in). La muestra debe tener un tamaño como mínimo 100 g de cada una de las siguientes aberturas, que deberán encontrarse disponibles en cantidades de 5% o más, expresadas en términos de los tamices indicados en la Tabla 17.

<sup>6</sup> La experiencia con este método de ensayo indica que un grado de sulfato de sodio designado por la marca como polvo seco, que puede ser considerado como aproximadamente anhidro, es mejor. Ese grado es más económico que la forma anhidra. El sulfato de decahidrato de sodio presenta dificultades para formar la solución requerida debido a su efecto de enfriamiento en la solución.



Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No. 4)

Tabla 17. Cantidades por tamiz que componen la muestra específica de finos para el ensayo Resistencia a la acción del sulfato de sodio o sulfato magnésico.

**2.9.6.3.** Lavar completamente la muestra de material fino en un tamiz de 300 µm (No. 50), seque a peso constante y a temperatura de 110 °C +/- 5°C (a 230 °F +/- 9°F) y separe en los diferentes tamaños tamizando hasta obtener muestras mínimas de 100 g +/- 0.1 g de cada una de las fracciones separadas después del tamizado final, y colóquelas en recipientes separados para el ensayo.

La muestra específica para el ensayo de material gruesos será el que queda retenido en el tamiz No 4. Hasta completar las siguientes cantidades disponibles por cada tamiz indicado en la Tabla 18.

Tamaño (Tamices de abertura cuadrada)	Masa, g
9.5 mm (3/8 in) a 4.75 mm (No 4)	300 +/- 5
12.5 mm (1/2 in) a 9.5 mm (3/8 in)	330 +/- 5
19.0 mm (3/4 in) a 12.5 mm (1/2 in)	670 +/- 10
25.0 mm (1 in) a 19.0 mm (3/4 in)	500 +/- 30
37.5 mm (1 1/2 in) a 25.0 mm (1 in)	1000 +/- 50
50 mm (2 in) a 37.5 mm (1 1/2 in)	2000 +/- 200
63 mm (2 1/2 in) a 50 mm (2 in)	3000 +/- 300

Tabla 18. Cantidades por tamiz que componen la muestra específica de gruesos para el ensayo Resistencia a la acción del sulfato de sodio o sulfato magnésico.

**2.9.6.4.** Lavar completamente la muestra de material fino en un tamiz de 300 µm (No. 50), seque a peso constante a 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F) y separe en los diferentes tamaños tamizando de la siguiente manera: haga una separación aproximada de la muestra tamizada con la ayuda de un juego de los tamices. De las fracciones obtenidas, seleccione muestras del tamaño suficiente para obtener 100 g después del tamizado. (en general, una muestra de 110 g será suficiente). No use los áridos finos adheridos en las mallas de los tamices para preparar las muestras. Pese muestras de 100 +/- 0.1 g de cada una de las fracciones separadas después del tamizado final y colóquelas en recipientes separados para el ensayo.

**2.9.6.5.** Lavar el material grueso y seque completamente a 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F), separar los diferentes tamaños señalados en la Tabla 18. Pesé las cantidades necesarias de los diferentes tamaños según las tolerancias indicadas en la Tabla 18 y, cuando la porción de ensayo consista en dos tamaños, combínelos hasta el peso total diseñado. Registre los pesos de las muestras de ensayo y las fracciones





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



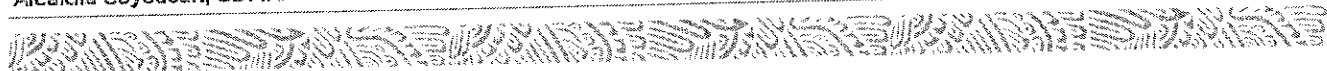
## ARTF

AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE  
FERROVIARIO



de sus componentes. Para los casos de tamaños mayores a los 19.0 mm (3/4 in), registre el número de partículas en las muestras de ensayo.

- 2.9.6.6.** Sumerja las muestras (finas y gruesas por separado) en la solución preparada de sulfato de sodio o sulfato de magnesio durante un mínimo de 16 h y un máximo de 18 h a una temperatura de 21 °C +/- 1 °C (70 °F +/- 2°F), de manera que la solución las cubra hasta 13 milímetros (1/2 in) sobre el nivel de las partículas (unas mallas de alambre adecuadas, colocadas sobre los áridos dentro del recipiente, permiten cubrir las muestras de áridos livianos). Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar una adición accidental de sustancias externas.
- 2.9.6.7.** Después del periodo de inmersión, retire las muestras de la solución, deje secar durante 15 +/- 5 min, y colóquelos en el horno de secado. La temperatura del horno debe haberse llevado previamente a 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F). Seque las muestras a la temperatura especificada hasta peso constante. Establezca el tiempo requerido para alcanzar el peso constante de la siguiente forma: con el horno cargado con la carga máxima esperada, verifique las pérdidas de peso de las muestras de ensayo retirándolas y pesándolas, sin enfriarlas, en intervalos de 2 a 4 h; haga las verificaciones suficientes para establecer el tiempo de secado necesario para la ubicación (como se menciona en las características del horno de secado) menos favorable en el horno y condición de la muestra.
- 2.9.6.8.** El tiempo de secado requerido hasta alcanzar el peso constante puede variar considerablemente por distintas razones. La eficiencia del secado puede verse reducida a medida que se acumulan los ciclos por la adhesión de sales a las partículas y, en algunos casos, por el incremento del área superficial debido a las fracturas. Las fracciones de áridos de distintos tamaños tendrán diferentes velocidades de secado. Las partículas de menor tamaño tenderán a secar más lentamente debido a su mayor área superficial y a la restricción entre los huecos entre las partículas, pero esta tendencia puede verse alterada por los efectos de la forma y tamaño del recipiente que los contiene. Se considera peso constante cuando la pérdida de peso es menor al 0.1% del peso de la muestra en 4 horas de secado. Una vez alcanzado el peso constante, deje enfriar las muestras a temperatura ambiente, para volver a sumergirlas en la solución preparada.
- 2.9.6.9.** Repita el proceso de alternancia de inmersión y secado hasta obtener el número requerido de ciclos.
- 2.9.6.10.** Después de completar el ciclo final, enfriar y lavar para retirar el sulfato de sodio o de magnesio, lo que se determina por la reacción del agua de lavado con el cloruro de bario (BaCl<sub>2</sub>). Lave haciendo circular agua a 110 °F +/- 10°F (43 °C +/- 6°C) a través de las muestras dentro de los recipientes. Esto puede realizarse colocando las muestras en un tanque en el que el agua caliente se pueda introducir cerca de la base permitiéndole circular. En la operación de lavado, las muestras no deben estar sometidas a impactos o abrasión que pueda romper las partículas.
- 2.9.6.11.** El agua corriente que contenga sulfatos, al ser empleada como agua de lavado se enturbiará al ser ensayada con la solución de cloruro de bario. La turbiedad de una solución de agua corriente y la solución de cloruro de bario debe ser





juzgada de manera que el agua de lavado ensayada con el mismo grado de turbiedad puede asumirse como libre de sulfatos en el mismo ensayo.

**2.9.6.12.** Seque cada fracción de la muestra hasta peso constante a 110 °C +/- 5°C (230 °F +/- 9°F). Tamice la muestra fina sobre el mismo tamiz en el que fue retenido antes del ensayo, empleando el método y la duración del tamizado usados para preparar las muestras de ensayo. Para los áridos gruesos, el tamizado debe ser manual empleando los tamices especificados en la Tabla 19, con agitación suficiente sólo para asegurar que todo el material de menor tamaño pase por el tamiz designado. No se debe emplear manipulación adicional para romper las partículas u obligarlas a pasar por los tamices. Pese el material retenido en cada tamiz y anote las cantidades.

Tamaño de los áridos	Tamiz usado para determinar la pérdida
63 mm (2 1/2 in) a 37.5 mm (1 1/2 in)	31.5 mm (1 1/4 in)
37.5 mm (1 1/2 in) a 19.0 mm (3/4 in)	16.0 mm (5/8 in)
19.0 mm (3/4 in) a 9.5 mm (3/8 in)	8.0 mm (5/16 in)
9.5 mm (3/8 in) a 4.75 mm (No. 4)	4.0 mm (No. 5)

Tabla 19. Tamices a emplear para la muestra de material grueso previo a la determinación de la pérdida.

**2.9.6.13.** La diferencia entre cada una de esas cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y debe ser expresada como un porcentaje del peso inicial.

**2.9.6.14.** Efectúe un examen cualitativo a las muestras mayores de 19.0 mm (3/4 in). Separe las partículas de cada muestra de ensayo en grupos de acuerdo con la acción producida por el ensayo. Las partículas pueden: desintegrarse, partirse, desmenuzarse, agrietarse, escamarse, etc. Aunque sólo se requiere examinar cualitativamente las partículas mayores de 3/4 in, se recomienda examinar las partículas de menor tamaño a fin de determinar si existen evidencias de excesiva división. Anote el número de partículas que muestra cada tipo de daño producido.

**2.9.6.15.** Calcular el porcentaje de intemperismo acelerado por fracción (para la parte fina y para la parte gruesa) con precisión de 0.1%.

$$I(\%) = \left( \frac{A - B}{A} * 100 \right)$$

Ec. 17

Donde:

I (%) = Porcentaje de intemperismo acelerado. Reportar con una precisión de 1.0%

A(g) = Masa inicial de la muestra, con una aproximación de 0.1 g (1 decimal).

B(g) = Masa final de la muestra, con una aproximación de 0.1 g (1 decimal).

**2.9.7. Criterios de aceptación de la prueba.** Se presentará un informe que contenga: el peso de cada fracción de cada muestra antes del ensayo, el material de cada fracción de la





muestra menor al tamiz designado en el examen cuantitativo para el tamizado posterior al ensayo, expresado como un porcentaje del peso original de la fracción. Para partículas mayores de 19.0 mm (3/4 in) antes del ensayo: (1) El número de partículas en cada fracción antes del ensayo, y (2) el número de partículas afectadas y el daño, ya sea desintegradas, partidas, desmenuzadas, agrietadas, escamadas, etc.; en número como en porcentaje, Clase de solución empleada (sulfato de sodio o magnesio) y si la preparación era una solución fresca o usada anteriormente.

**2.9.8.** La resistencia a la acción del sulfato de sodio o magnesio se considerará como aceptable de acuerdo con el porcentaje de intemperismo, cuando sea menor o igual a los parámetros indicados en la Tabla 20. La tolerancia máxima permitida vs el valor indicado en la tabla será de +0.5%.

Porcentaje de intemperismo	Sulfato de sodio a 5 ciclos	Sulfato magnésico a 10 ciclos
		≤5%

Tabla 20. Número de ciclos y valores aceptables de la prueba.

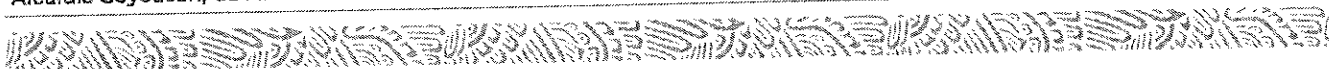
## 2.10. Partículas alargadas y/o planas.

**2.10.1.** Las partículas planas y/o alargadas son aquellas que tienen una relación de ancho a espesor mayor a un parámetro específico que depende de un aparato calibrador y varía por cada partícula analizada en el aparato; y que es el estándar con el cual se evaluará el balasto ferroviario. Este tipo de partículas pueden interferir en la consolidación del material a utilizar de ahí la importancia de conocer en qué porcentaje se encuentran presentes.

**2.10.2.** Este método de prueba cubre la determinación por masa del porcentaje de partículas planas y alargadas del agregado grueso.

**2.10.3.** Se deberán emplear al menos los siguientes materiales:

**2.10.3.1.** Aparato calibrador: El calibrador ilustrado en la Figura 7 y Figura 8 son ejemplos de aparatos calibradores adecuados para este método de prueba. El aparato ilustrado en la Figura 7 y Figura 8, consiste en una placa base con dos postes fijos y un brazo libre montado entre ellos de tal manera que las aberturas entre los brazos y los postes mantienen una relación constante. La posición del eje puede ser ajustada para proveer la relación de abertura deseada. La Figura 7 ilustra un calibrador en el cual se pueden tener relaciones 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5. El aparato ilustrado en la Figura 8, contiene varios postes fijos y tiene la capacidad de medir varias relaciones simultáneamente.



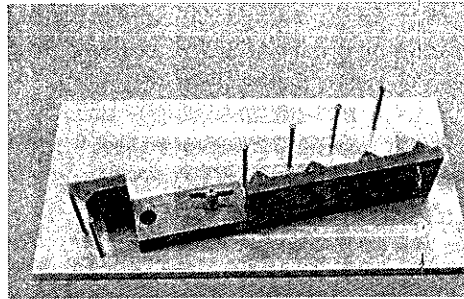


Figura 7. Aparato calibrador de relaciones 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5.

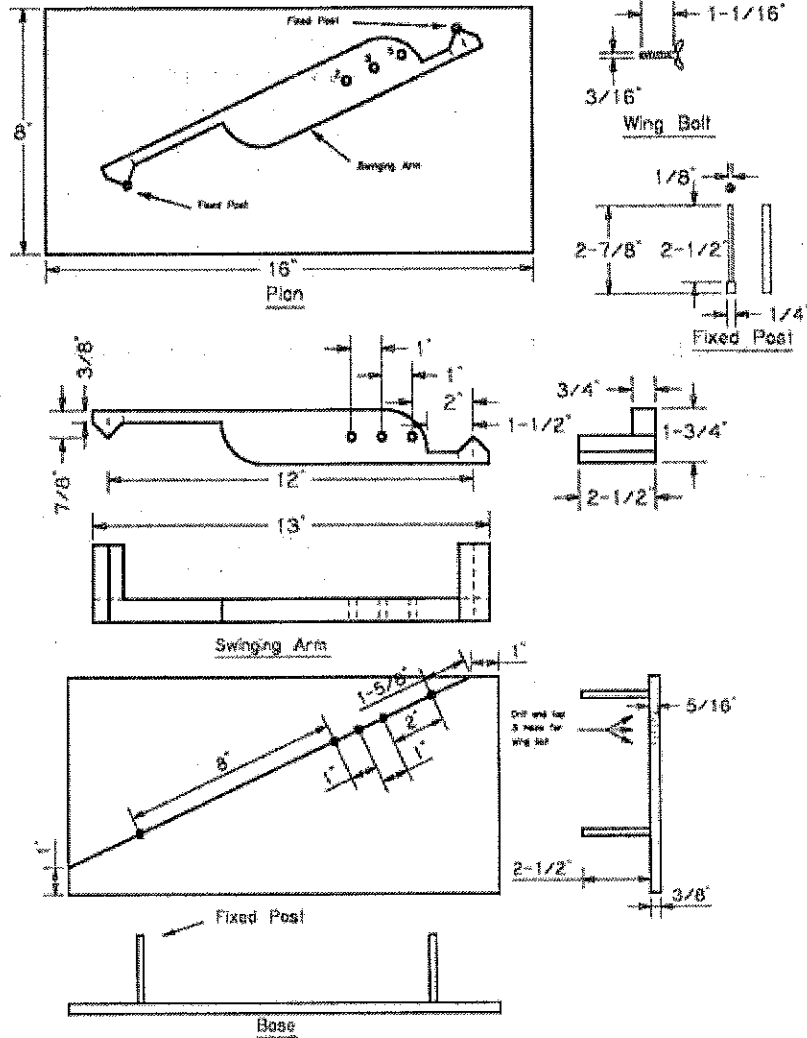


Figura 8. Ejemplo de aparato de medición.





- 2.10.3.2.** Verificación de la relación: La configuración de la relación en el aparato calibrador proporcional debe ser verificada por el uso de un bloque patrón, micrómetro u otro aparato apropiado.
- 2.10.3.3.** Balanza: La balanza o báscula usada debe tener una exactitud de 0.5% de la masa de la muestra.
- 2.10.3.4.** Tamices con aberturas de los siguientes tamaños: 37.5 mm (1 1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 12.5 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4).
- 2.10.3.5.** Horno capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- 2.10.4.** El material debe recolectarse y reducirse de acuerdo con los métodos descritos en el apartado 1.3.4 y 1.3.5.
- 2.10.5.** Una vez que la muestra esté bien mezclada, se tomará una muestra mínima acorde a la Tabla 21.

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas mm (in)	Masa mínima de la muestra de Ensayo kg (lb)
150 (6)	500 (1100)
125 (5)	300 (660)
100 (4)	150 (330)
90 (3 1/2)	100 (220)
75 (3)	60 (130)
63 (2 1/2)	35 (77)
50 (2)	20 (44)
37 (1 1/2)	15 (33)
25 (1)	10 (22)
19 (3/4)	5 (11)
12.5 (1/2)	2 (4)
9.5 (3/8)	1 (2)

Tabla 21. Muestra mínima específica para la prueba de partículas alargadas.

**2.10.6.** A continuación, se describe el procedimiento a seguir:

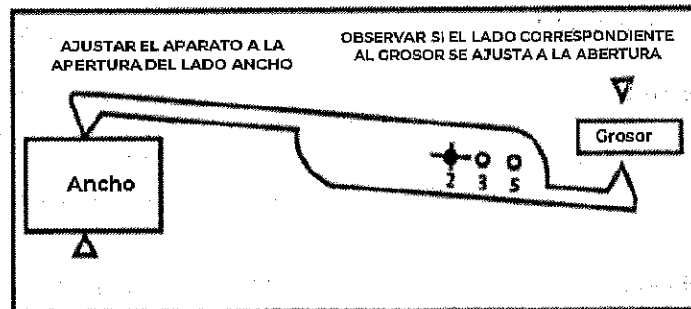
- 2.10.6.1.** Secar la muestra completa en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.
- 2.10.6.2.** Cribar la muestra de agregado grueso a ser ensayado de acuerdo con el método
- 2.10.6.3.** Análisis granulométrico. Usar el material retenido en la malla de 4.75 mm (No. 4).



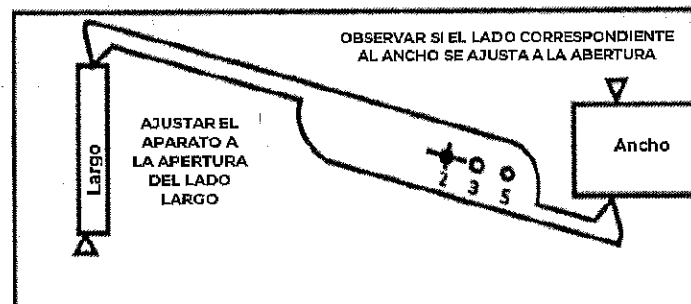




- 2.10.6.4.** Calcular el porcentaje retenido parcial de cada fracción (C) con aproximación de 0.1 %. Si el porcentaje retenido parcial de alguna fracción es menor al 10%, ésta se puede descartar para ser ensayada.
- 2.10.6.5.** Identificar las dimensiones de cada partícula como: largo (la mayor dimensión de la partícula), ancho (la dimensión intermedia de la partícula), y espesor (la menor dimensión de la partícula).
- 2.10.6.6.** Ensayar cada una de las partículas de cada una de las fracciones y colocarlas en uno de los tres grupos: (1) Planas, (2) alargadas, (3) partículas planas y alargadas, (4) ni alargadas ni planas (equidimensionales).
- 2.10.6.7.** Si la partícula es determinada como plana, pero no elongada, la partícula se colocará en el grupo (1). Si es determinado que la partícula no es plana pero sí elongada, se colocará en el grupo (2). En algunos casos es posible que la partícula cumpla ambos criterios o ninguno de ellos, en esos casos se clasificará como grupo (3) y grupo (4) respectivamente.
- 2.10.6.8.** Utilizar el calibrador, posicionado a la relación adecuada, mostrado en la Figura 9, como señala a continuación:



TEST DE PARTÍCULAS PLANAS



TEST DE PARTÍCULAS ELONGADAS

Figura 9. Uso de aparato calibrador.



**2.10.6.9.** Prueba de partículas planas: Coloque la abertura más grande igual al ancho de la partícula. La partícula es plana si el espesor puede pasar a través de la abertura más pequeña.

**2.10.6.10.** Prueba de partículas alargadas. Coloque la abertura más grande igual al largo de la partícula. La partícula es alargada si el ancho puede pasar a través de la abertura más pequeña.

**2.10.6.11.** Después de que las partículas han sido clasificadas dentro del grupo descrito al inicio de este procedimiento, determinar la proporción de la muestra en cada grupo por masa.

**2.10.7. Para obtener la aceptación de** esta prueba se deberá presentar un informe que contenga como mínimo la identificación del agregado evaluado y la granulometría de la muestra original mostrando los porcentajes retenidos y acumulados en cada tamiz. También, deberá contener el número de partículas en cada tamiz analizadas, los porcentajes calculados por número o por masa (o ambos) para cada grupo analizado como son partículas planas, partículas elongadas, partículas tanto planas como elongadas y partículas que no son ni planas o tampoco son elongadas; las relaciones dimensionales usados en la prueba. Para considerar que el balasto cumple con estos requisitos el valor aceptable del porcentaje de partículas alargadas debe ser menor de lo establecido en la Tabla 22.

Partículas alargadas y/o planas	Porcentaje de partículas
	5%

Tabla 22. Valores aceptables para la prueba de partículas alargadas.

## 2.11. Espesor mínimo de los elementos granulares.

**2.11.1.** El espesor mínimo de los elementos granulares del balasto será de 25 mm, se admite un tanto por ciento de la masa total de la muestra ensayada, comprendido entre los 25 mm (1" in) y 16 mm (5/8" in), en función del coeficiente de Desgaste Los Ángeles, y se determina a través de la fórmula:

$$C \leq (39.5 - CLA), \text{ teniendo que ser siempre } C \leq 27$$

Ec. 18

Donde:

C=Porcentaje admisible de la masa de elementos con espesor comprendido entre 25 mm y 16 mm.

CLA =Coeficiente de Desgaste Los Ángeles, en porcentaje

**2.11.2.** El valor máximo admisible de la masa de "elementos comprendidos entre el tamiz de 25 mm y el de 16 mm no excederá nunca del 27 % o del valor C obtenido. Al agregado





- 2.12.3.1.** Para el caso del muestreo de las probetas de balasto ferroviario éstas serán consideradas como muestras intactas, las cuales deberán tener una sección transversal uniforme y los extremos deben ser perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Se determina la masa y dimensiones de la muestra a ensayar.
- 2.12.3.2.** El procedimiento a grandes rasgos involucra la obtención de probetas cilíndricas en campo del material a analizar, en este caso, de la cantera de balasto ferroviario. Estas probetas deberán tener un diámetro mínimo de 50 mm y el tamaño máximo de la partícula más grande contenida en la probeta será de 1/10 de diámetro; para casos donde el diámetro sea igual o mayor a 72 mm, se podrá tener un tamaño máximo de partícula contenida en la probeta de 1/6 del diámetro. La relación entre la altura y el diámetro será de entre 2 y 2.5.
- 2.12.3.3.** El número de especímenes necesarios para obtener los resultados será de 15 probetas.
- 2.12.3.4.** Se deberá realizar el ensayo conservando la humedad del material o bien después de proceso de secado a masa constante.
- 2.12.3.5.** La probeta cilíndrica se posicionará en el aparato de carga, centrada sobre el plato inferior y se deberá ajustar el aparato de carga cuidadosamente para que el plato superior apenas haga contacto con la muestra. Posteriormente se deberá colocar el indicador de deformación en cero o bien registrar la lectura inicial del equipo. Se aplicará una carga para producir una deformación axial a un coeficiente de 14 a 2%/minuto. Registre los valores de carga, deformación, y tiempo con suficientes intervalos como para definir la forma de la curva compresión deformación (generalmente 10 a 15 puntos son suficientes). La razón de deformación deberá ser elegida para que el tiempo de falla no exceda los 15 minutos. Continúe cargando hasta que los valores de carga disminuyan con el incremento de deformación, o hasta que alcance un 15% de deformación.
- 2.12.3.6.** Calcular la deformación axial,  $\epsilon_1$ , lo más cercano al 0.1%, para una carga determinada, como sigue:

$$\epsilon_1 = \left( \frac{\Delta L}{L_0} * 100 \right)$$

Ec. 19

Donde:

$\Delta L$  = cambio de longitud de la muestra leída del indicador de deformación o del equipo electrónico, mm (in), y

$L_0$  = longitud inicial de la muestra, mm (in).

- 2.12.3.7.** Calcular el área transversal promedio,  $A$ , para una carga determinada, como sigue:





que se encuentre entre los tamices de 25mm y 19mm será obtenido a través de los métodos granulométricos mencionados anteriormente.

## 2.12. Resistencia a la compresión.

- 2.12.1.** Otra evaluación necesaria para conocer las características mecánicas de las muestras de balasto es a través de la prueba de resistencia a la compresión simple no confinada similar a la que se realiza a los especímenes de concreto. Este método de ensayo abarca la determinación de la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos en condiciones de compresión, intactas, o remoldeadas, utilizando la aplicación de una carga axial de deformación controlada y entregando valores aproximados de resistencia de suelos.
- 2.12.2.** Para realizar esta prueba se deberán emplear al menos los siguientes materiales y equipos:
- 2.12.2.1.** Aparato de Compresión capaz de medir el esfuerzo de compresión con una precisión de 1 kPa (0.001 ton/ft<sup>2</sup>). Para suelos con una resistencia a la compresión no confinada igual o mayor a 100 kPa (1.0 ton/ft<sup>2</sup>) el aparato de compresión deberá ser capaz de medir con una precisión de hasta 5 kPa (0.005 ton/ft<sup>2</sup>).
- 2.12.2.2.** Extractor de Muestra: capaz de extraer el centro de la muestra en el tubo, a una velocidad constante, en la misma dirección en que la muestra fue insertada en el tubo, a una velocidad razonable y con el menor trastorno posible de la muestra. Las condiciones de la muestra, en el momento de su remoción, pueden indicar la dirección de remoción, pero la principal preocupación es reducir el potencial adicional de perturbación, más allá del producido por la remoción original.
- 2.12.2.3.** Indicador de Deformación: el indicador de deformación deberá ser un dial indicador graduado a 0.03 mm (0.001 in) o mejor, y que tenga un rango de desplazamiento de por lo menos 20% del largo de la muestra, o puede ser un indicador electrónico de deformación que cumpla con estos requerimientos.
- 2.12.2.4.** Comparador de Dial, o cualquier otro aparato pertinente, para medir las dimensiones físicas de la muestra dentro del 0.1% de la dimensión medida.
- 2.12.2.5.** Cronómetro: se utilizará un cronómetro que indique el tiempo transcurrido del ensayo al segundo más cercano para establecer la aplicación de la velocidad de deformación establecida en este método.
- 2.12.2.6.** Balanza: La balanza utilizada para pesar las muestras deberá determinar la masa de la muestra dentro del 0.1% de la masa total.
- 2.12.2.7.** Aparatos varios, incluyendo herramientas para tallar y recortar las muestras, aparatos para remoldear, recipientes para el agua removida, y hoja de datos como se requiera.

**2.12.3.** El procedimiento que se deberá seguir será el siguiente:





$$A = \left( \frac{A_o}{1 - \frac{\epsilon 1}{100}} \right)$$

Ec. 20

Donde:

Ao = área transversal promedio inicial de la muestra mm<sup>2</sup> (in<sup>2</sup>), y  
ε1 = deformación axial para la carga dada en %.

**2.12.3.8.** Calcule la resistencia a la compresión, σc, a tres cifras significativas, o lo más cercano a 1 kPa (0.001 ton/pies<sup>2</sup>) para una carga determinada, como sigue:

$$\sigma c = \left( \frac{P}{A} \right)$$

Ec. 21

Donde:

P = carga aplicada dada, kPa (ton/ft<sup>2</sup>)

A = área transversal promedio correspondiente mm<sup>2</sup> (in<sup>2</sup>)

**2.12.4. Para obtener la aceptación de** esta prueba se deberá entregar un informe de las probetas analizadas que incluya Identificación y descripción visual de la muestra y su naturaleza geológica, densidad seca inicial y masas de los especímenes, resistencia a la compresión no confinada y resistencia al corte, Altura y diámetro promedio de la muestra, Razón altura - diámetro, Velocidad promedio de deformación a la falla, %, Deformación en la falla, %, Límites plásticos y líquidos, Bosquejo o fotografía de falla, Gráfico tensión - deformación.

**2.12.5.** El valor de conformidad del parámetro de la resistencia obtenida del material deberá ser mayor a los valores de la Tabla 23.

<b>Resistencia a la compresión</b>	≥ 1000 KG/CM <sup>2</sup>
------------------------------------	------------------------------

Tabla 23. Valores aceptables para la prueba de resistencia simple.

## 2.13. Limpieza de balasto.

**2.13.1.** El balasto para vía férrea no podrá contener materiales nocivos, tales como madera, materia orgánica, rocas alterables, materiales tixotrópicos, expansivos, solubles, putrescentes, desechos industriales, metales o plásticos.

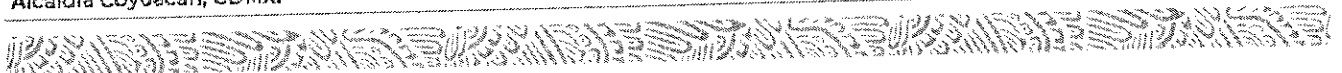
## 2.14. Radar de penetración terrestre (GPR).

**2.14.1.** Consta de un ensayo no destructivo, mediante una técnica de levantamiento electromagnético que emplea un vehículo de inspección de vía y permite medir el espesor de las capas, detectar cambios en la estructura o en las propiedades de los materiales a lo largo de la vía. También detecta diferentes tipos de defectos como oquedades en el balasto, balasto sucio, drenaje deficiente, asentamiento de capas inferiores y problemas de pérdidas de material y su respectiva profundidad.





- 2.14.2.** El vehículo de inspección de vía será del tipo "Plasser y Theurer EM-120" o similar, el cual debe contar con antenas GPR "Ingegneria de Sistemi" (IDS) de 400 MHz de frecuencia. El modelo de empleo de otro tipo de vehículo, será sometido, según corresponda, a la aprobación de la AGENCIA por la Entidad de Acreditación, sometido a la Entidad de Acreditación por parte, del Organismo de Evaluación de la Conformidad, y sometido al Organismo de Evaluación de la conformidad por el concesionario o Asignatario cuando desee realizar esta prueba como parte de su rutina de mantenimiento de la Entidad de Acreditación según corresponda.
- 2.14.3.** El vehículo a emplear deberá tener un certificado de Calibración emitido el Centro Nacional de Metrología o un Organismo de evaluación de la Conformidad en materia de metrología.
- 2.14.4.** Se calculará el índice de bateado (AMP), para tramos evaluar a cada 200 metros. Estos servirán de referencia para ser evaluados con respecto al, límite de intervención (IL) y el límite de alerta (AL).
- 2.14.5.** El índice de bateado se considera como el valor máximo entre la desviación estándar máxima del nivel longitudinal y la desviación estándar mínima de la alineación, y el objetivo es caracterizar la calidad de la pista de forma global.
- 2.14.6.** El procedimiento para realizar la prueba será el siguiente:
- 2.14.6.1.** La frecuencia con la que se deberá realizar la aplicación de la muestra será de 1 año para vías con servicio de carga de más de 6 millones de toneladas por año, de dos años para vías con servicio de carga entre de 1 millón y menos de 6 millones de toneladas por año, y de 3 años para vías con niveles de servicio de carga inferiores a un 1 millón de toneladas por año.
  - 2.14.6.2.** Se selecciona un tramo y se calculan valores de desviación estándar en un tramo de 200 metros como máximo, a cada 25 metros, que corresponde al paso de medición del equipo EM120, con la finalidad de tener mayor amplitud de datos puntuales. La medida anterior ira de la mano con las lecturas del equipo GPR.
  - 2.14.6.3.** Se grafican los valores de índice de bateo (AMP), en un plano donde el eje de las abscisas corresponderá a la distancia recorrida por el equipo EM120, y las ordenadas a la desviación estándar en milímetros.
  - 2.14.6.4.** Con los resultados graficados, se verifica si la línea supera los valores de referencia de IL y AL. En caso de superar la línea IL, se procede a revisar las lecturas electromagnéticas del equipo GPR.
  - 2.14.6.5.** Se analizan las interfaces del subsuelo, se procederán a analizar la configuración de capas y el comportamiento de las lecturas que se encuentre en orden lineal y no presenten variaciones dieléctricas. De detectarse variaciones, se deberá determinar la profundidad de la misma.
  - 2.14.6.6.** Al presentarse resultados de las lecturas con configuraciones muy similares a la del subsuelo, donde no se distinga la estratigrafía o cambio de capas entre





uno y otro, indicarán problemas en el mismo o que el historial de bateo no ha sido el adecuado.

**2.14.7. Para obtener la aceptación de** esta prueba aplicable a un tramo ferroviario, se deberá realizar un análisis al tramo y se deberá entregar a la AGENCIA o al OEC un informe que contendrá como mínimo lo siguiente:

**2.14.7.1.** La certificación metrológica del equipo de muestreo.

**2.14.7.2.** La aprobación del equipo por parte de la Agencia.

**2.14.7.3.** Ubicación georreferenciada de los puntos muestreados o sometidos a la prueba presentando la información como se indica el formato establecido en el APENDICE 2.

**2.14.7.4.** Los resultados de las mediciones de los índices obtenidos con el equipo.

**2.14.7.5.** Una vez recibida la solicitud para la obtención de la Conformidad de esta prueba, la Agencia o el OEC, evaluará y emitirá alguna de las recomendaciones siguientes:

- a) Aprobar la conformidad de la prueba con representatividad para todo el tramo analizado con vigencia similar al periodo de frecuencia de realización de las pruebas establecido en 2.14.6.1.
- b) Repetir la prueba.
- c) No aprobar la prueba y realizar un Muestreo tipo "Durante la vida útil del proyecto" establecido en la Tabla 1 y aplicarle las pruebas establecidas en 2.1.4.

### 3. Evaluación de la conformidad de este lineamiento.

**3.1.** La Evaluación de la Conformidad (EC) del cumplimiento del presente lineamiento se llevará a cabo por:

- a) la AGENCIA, o
- b) El Organismo de Evaluación de la Conformidad acreditado por una Entidad de Acreditación y aprobado por la AGENCIA.

**3.2.** Se emitirá un documento de Evaluación de Conformidad para cada momento indicado en la Tabla 1, el cual tendrá que ser solicitado y obtenido de acuerdo con establecido en la Tabla 24 y lo siguiente:



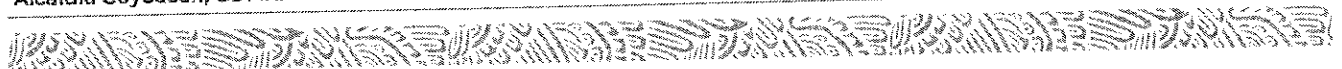


Tipo de conformidad	A quien se le otorga	Momento del proyecto (Tabla 1)	Frecuencia
A	Desarrollador	1	Cada que se prospecta un punto de explotación y limitado a 200,000 m <sup>3</sup> .
B	Desarrollador	2	De manera mensual durante la ejecución de la obra. Cada uno por separado, desde el 1er mes de inicio de la obra y hasta un mes posterior al término de ejecución de los trabajos de colocación de balasto.
C	Constructor	3	
D	Concesionario	3	
E	Constructor	5	Depende la importancia de sus vías de acuerdo a su clasificación según la Tabla 4. Con actualización de manera anual.
F	Concesionario	4	
G	Al laboratorio	1, 2, 3, 4 y 5	Por primera vez, previo a la prestación de servicios, posteriormente cada 3 años.

Tabla 24 Frecuencias de evaluación de la conformidad.

### 3.3. Conformidad tipo A

- 3.3.1.** Se obtiene Durante el desarrollo de la fuente potencial. Esta conformidad será solicitada y obtenida por el Desarrollador, previo al inicio de producción de balasto y suministro a la obra de construcción u obra de mantenimiento. Solo ampara el punto de explotación muestreado y limitado a una explotación de 200,000 m<sup>3</sup>.
- 3.3.2.** Previo al inicio de los trabajos, El desarrollador entregará a LA AGENCIA un informe sintetizado por cada fuente potencial o 200,000 m<sup>3</sup> por desarrollar, que debe contener como mínimo lo siguiente: fecha, localización georreferenciada de la fuente, tipo de propiedad (federal o particular), tipo de material de acuerdo a su clasificación geológica, tratamiento requerido (cribado, triturado, disgregado, lavado, estabilizado), volumen aprovechable aproximado, usos probables (balasto, subbalasto, concretos, mezclas asfálticas, mampostería, etc), empleo de explosivos para su desarrollo (si aplica) , restricciones ecológicas (si aplica), historial de muestreos, dictaminado por un ingeniero con formación en materia de geología (rocas) y geotecnia (Suelos).
- 3.3.3.** Para una explotación mayor a 200,000 m<sup>3</sup> o un nuevo punto de explotación será necesario realizar el procedimiento completo tal como se describe en el subinciso 3.3.2 para obtener una nueva Evaluación de la Conformidad.
- 3.3.4.** Para obtener una evaluación de la conformidad favorable emitida por parte de la AGENCIA o un OEC, el desarrollador deberá haber aprobado todas las pruebas indicadas en el apartado 2.1.2., el visto bueno por parte de LA AGENCIA del informe inicial entregado descrito en 3.3.2, y copia de la EC de conformidad inicial del laboratorio que desarrollará su fuente potencial bajo lo descrito en 3.9.3.







- 3.3.5.** La EC de esta etapa, se deberá solicitar de manera obligatoria, y servirá como requisito para poder obtener la EC de tipo B y C.
- 3.3.6.** Para obtener una evaluación de la conformidad favorable emitida por parte de la AGENCIA o un OEC, el desarrollador deberá entregar a LA AGENCIA:
- Un control documental que contenga el historial de todas las pruebas de calidad aprobadas en esta etapa, limitado a un volumen de 200,000 m<sup>3</sup> o un nuevo punto de explotación.
  - Acuse de la autorización por parte de la agencia del informe de su fuente potencial por desarrollar
  - Acuse de la Conformidad inicial G, obtenida por el laboratorio que realizó las pruebas de sus muestras.
- 3.3.7.** El desarrollador deberá entregar al constructor el certificado que acredite la Evaluación de la Conformidad favorable de esta etapa del proyecto por cada 200,000 m<sup>3</sup> o punto nuevo de explotación, y deberá guardar el acuse de los mismos.

### 3.4. Conformidad tipo B

- 3.4.1.** Se obtiene durante el Autocontrol de la producción del balasto. Esta conformidad será solicitada y obtenida por el Desarrollador de manera mensual. Tendrá una vigencia de un mes, y tendrá que ser renovada mensualmente durante la ejecución de los trabajos.
- 3.4.2.** El desarrollador deberá mantener actualizada la Bitácora con los lotes de balasto producidos y suministrados, que deberán cumplir con lo descrito en el subinciso 1.3.7, el historial que contenga los resultados con todas las pruebas de calidad aprobadas señaladas el subinciso 2.1.3 para esta etapa de proyecto, con las frecuencias mínimas como se señalan en 1.3.2 y las indicadas en la Tabla 6 para las pruebas F y H en particular. Además de copia de la Evaluación de la Conformidad tipo G del laboratorio que se encargará de realizar las pruebas en esta etapa de acuerdo con 3.9.3
- 3.4.3.** Además de entregar el registro a LA AGENCIA, deberá entregar copia del mismo al constructor con la misma frecuencia, quien deberá realizar su resguardo para los efectos posteriores que LA AGENCIA determine.
- 3.4.4.** Para obtener una Evaluación de la Conformidad Favorable por LA AGENCIA o un OEC, el desarrollador entregará A LA AGENCIA:
- Un control documental que contenga los registros de los lotes producidos y suministrados bajo lo descrito en 3.4.2 de manera mensual durante la ejecución de los trabajos, desde el 1er mes de inicio de la obra y hasta un mes posterior al término de ejecución de los trabajos de colocación de balasto acompañado.
  - Su Conformidad A.
  - La Conformidad G del laboratorio que emplea



- d) Acuses de entrega al Constructor de los Certificados A y de entrega de la bitácora con sus registros correspondientes a su contrato

### 3.5. Conformidad tipo C

- 3.5.1.** Se solicita y deberá obtenerla el Constructor durante la construcción de la infraestructura de vía, de manera mensual desde el primer mes de inicio de la obra y hasta un mes posterior al término de ejecución de los trabajos de colocación de balasto.
- 3.5.2.** Para obtener una Evaluación de la Conformidad Favorable por la AGENCIA o un OEC, El constructor entregará a la AGENCIA:
- a) La bitácora con los registros de los lotes producidos y suministrados por el desarrollador, incluyendo la vía, tramo y georreferenciación de donde fue colocado, de acuerdo al APENDICE 2. Lo anterior de manera mensual durante la ejecución de los trabajos, desde el 1er mes de inicio de la obra y hasta un mes posterior al término de ejecución de los trabajos de colocación de balasto
  - b) Copia de la Conformidad A y B, del desarrollador.

### 3.6. Conformidad tipo D

- 3.6.1.** Para obtener una Evaluación de la Conformidad Favorable por la AGENCIA o un OEC, El concesionario entregará a la AGENCIA por cada obra-contrato-constructor de manera mensual, para su integración en las estadísticas de mantenimiento y estado físico de la vía, el Informe de que realizó la supervisión de los trabajos encomendado al constructor, el cual debe venir firmados por el responsable tanto del concesionario y constructor. Incluirá copia de las conformidades A, B y C.

### 3.7. Conformidad tipo E

- 3.7.1.** Se solicita y deberá obtenerla el Constructor durante la ejecución de una obra de mantenimiento al balasto ferroviario de manera mensual desde el primer mes de inicio de la obra y hasta un mes posterior al término de ejecución de los trabajos de colocación de balasto.
- 3.7.1.1.** Para obtener una Evaluación de la Conformidad Favorable por parte de LA AGENCIA o un OEC, el procedimiento será similar al descrito en 3.5.

### 3.8. Conformidad tipo F

- 3.8.1.** Se solicita y deberá obtenerla el Concesionario durante la vida útil del proyecto de y su frecuencia dependerá de la importancia de sus vías que tenga bajo operación.
- 3.8.2.** Para obtener una evaluación de la conformidad favorable en esta etapa emitida por parte de la AGENCIA o un OEC, el concesionario someterá a prueba su red ferroviaria con la frecuencia que depende de la clasificación que tenga la vía según se establece en la Tabla 4 y lo establecido en el numeral 1.4.2.



- 3.8.3.** Las muestras de balasto obtenidas como lo señala el subinciso 1.4, deberán haber aprobado las pruebas de calidad descritas en 2.1.4 con la frecuencia indicada en 3.8.2.
- 3.8.4.** Para obtener una evaluación de la conformidad el Concesionario deberá entregar a LA AGENCIA:
- Un control documental que contenga la aprobación de todas las pruebas de calidad descritas en 3.8.3.
  - Acuse de certificado de la EC tipo G Además de copia de la EC inicial del laboratorio que se encargará de realizar el control de calidad en esta etapa.
- 3.8.5.** Alternativamente, La AGENCIA podrá realizar la prueba L para Evaluar la Conformidad si así lo decide, de acuerdo con lo descrito en 2.1.5 y 2.14. El concesionario podrá realizar la misma prueba en caso de contar con el equipo y personal debidamente capacitado y acreditado por una Entidad de Acreditación, para este caso deberá notificar a LA AGENCIA con una periodicidad de 30 días naturales previo a la fecha que requiera realizar la prueba, para evaluar su aprobación.
- 3.8.6.** En caso que el concesionario solicite realizar lo descrito en 3.8.5, deberá anexar en su solicitud por escrito: Modelo del equipo, Tipo de antenas y sensores, velocidad de operación para lecturas, personal de operación, calendario de actividades, certificado de Calibración emitido el Centro Nacional de Metrología o un Organismo de evaluación de la Conformidad en materia de metrología, manual de operación del equipo, Normas o manuales de referencia para la obtención de índices, límites, desviación estándar longitudinal y transversales, y otros parámetros que LA AGENCIA determine.
- 3.8.7.** Para Evaluar la Conformidad como favorable a la prueba L descrita en 3.8.5 la agencia dictaminará a partir de un informe con los resultados de las mediciones descritas en 2.14.7. Para obtener una evaluación de la conformidad en la prueba F, se realizará conforme a lo siguiente:
- Si LA AGENCIA realiza la evaluación con equipo propio, el concesionario deberá presentar el certificado de aprobación de los tramos evaluados por parte de la AGENCIA como lo indica 3.8.7.
  - Si el concesionario realiza la verificación por sus propios medios, además de cumplir con lo descrito en lo indicado en 3.8.7 a), deberá contar con la aprobación de LA AGENCIA de la logística de evaluación propuesta según 3.8.6.

### 3.9. Conformidad tipo G

- 3.9.1.** Los laboratorios deberán solicitar la Evaluación de la Conformidad, de forma inicial y previo a la prestación del servicio que realicen para los Desarrolladores de fuentes potenciales, constructores, o concesionarios para la etapa del proyecto en donde intervengan descritos en 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 y resumidas en la Tabla 25. Una vez obtenida la Evaluación de la Conformidad inicial, deberán obtener una nueva cada 3 años.





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE  
FERROVIARIO



- 3.9.2.** Para Evaluar la Conformidad como Favorable, deberán mostrar los documentos que avalen que sus instalaciones, equipo y personal cuentan con la capacidad técnica y son los apropiados para realizar las pruebas solicitadas.
- 3.9.3.** La evaluación de la conformidad de esta etapa será requerida de manera obligatoria para poder ser contratado por un desarrollador, constructor o concesionario, durante cualquiera de las etapas que se describen en este lineamiento.
- 3.9.4.** Si LA AGENCIA lo determina, podrá solicitar la inspección de pruebas en el laboratorio o el sitio que determine como representativo al de los trabajos, para supervisar la correcta ejecución por parte del personal con el equipo requerido para las mismas.
- 3.10.** La AGENCIA podrá seleccionar un sitio de manera aleatoria para evaluar o verificar el cumplimiento de este lineamiento y solicitará realizar los ensayos correspondientes al tipo y etapa de la prueba, para la cual se podrán presentar los siguientes escenarios:
- 3.10.1.** Si al realizar la verificación la AGENCIA determina que los resultados cumplen con los estándares de calidad solicitados, determinará la evaluación de la conformidad como favorable en la zona del tramo analizado.
- 3.10.2.** Si al realizar la verificación la AGENCIA determina que los resultados no cumplen con los estándares de calidad solicitados, ordenará la ejecución de 4 pruebas adicionales del mismo tipo (pruebas de refutación); La distribución será de 2 pruebas hacia ambos lados espaciadas a 500 metros entre sí, a partir del sitio de la muestra original.
- 3.10.3.** Si al realizar la verificación de estas pruebas de refutación la AGENCIA determina que los resultados cumplen con la conformidad establecida, determinará la evaluación de la conformidad como favorable en la zona del tramo analizado.
- 3.10.4.** Si al realizar la verificación de estas pruebas de refutación la AGENCIA determina que una de ella no cumple con la conformidad establecida, determinará la evaluación de la conformidad como no favorable (no conformidad) en la zona del tramo analizado.
- 3.11.** La AGENCIA podrá retirar la aprobación y sancionar al organismo de evaluación de la conformidad y a la entidad de acreditación que emitió las acreditaciones a dichos organismos, cuando se detecten irregularidades.
- 3.12.** Se utilizarán como herramientas de evaluación formatos de control correspondientes para cada lineamiento. Por ejemplo, para el apartado 2, se muestra el formato F1 en el APENDICE 1. Formato F1. (Informativo).
- 3.13.** El contenido del formato podrá ser organizado según sea la programación de inspección del OEC, de acuerdo con el orden que considere oportuno o dividirlo internamente en varias secciones, pero ningún objeto de evaluación señalado en el formato o punto señalado en estos lineamientos quedará sin ejecutarse ni evaluarse.
- 3.14.** Para obtener una evaluación de la conformidad mencionada en la Tabla 24, los sujetos obligados deberán cumplir lo indicado en este lineamiento y el balasto deberá haber



Sujeto obligado	Requisito	Documento probatorio
Entidad de Acreditación	Personal con experiencia en el sector ferroviario de al menos 5 años quien será designado como responsable.	Constancia Seguridad Social o cartas de recomendación
	Personal con capacitación en la aplicación de la Ley de la Infraestructura de la Calidad o la vigente.	Certificado de término del curso aprobado por la STPS
	Personal con Capacitación en la Norma Mexicana NMX-EC-17020-IMNC-2014 o la vigente que la sustituya.	Certificado de término del curso aprobado por la STPS
Organismo de Evaluación de la Conformidad	Personal con experiencia en materia ferroviaria de al menos 3 años.	Constancia Seguridad Social o cartas de recomendación
	Personal con capacitación en las siguientes materias: A) Sistema ferroviario mexicano B) NOM-003-ARTF-2019 o la versión vigente	Certificado de término del curso aprobado por la AGENCIA para cada materia.
	Personal capacitado en cada una de las pruebas establecidas en la Tabla 5.	Certificado de término del curso aprobado por la AGENCIA para cada prueba o brindado por una EA u otro OEC.

Tabla 27. Requisitos particulares que deben cumplir la Entidad de Acreditación y el OEC.

#### 4. Multa.

- 4.1. Los sujetos obligados al cumplimiento de este lineamiento se harán acreedores a una multa de mil a veinte mil salarios mínimos (o Unidades de Medida y Actualización según aplique) cuando a solicitud de la AGENCIA no exhiban el documento que compruebe la Evaluación de la Conformidad del cumplimiento de acuerdo con el apartado 3 de este lineamiento.

#### 5. Transitorios.

- 5.1. Los concesionarios, asignatarios o permisionarios, constructores, desarrolladores de fuentes de balasto, que al momento de publicación del presente lineamiento se encuentren realizando actividades reguladas en el presente lineamiento, tendrán el plazo establecido entre la publicación del presente lineamiento y su entrada en vigor para realizar un informe del avance que tenían al momento de publicación, realizar los ajustes pertinentes en sus





obtenido los valores de aceptación en todas las pruebas correspondientes a su etapa de proyecto, indicadas en la Tabla 25:

Momento del proyecto	Pruebas aprobadas
1. Durante el desarrollo de la fuente potencial	A (sí aplica), B, F, G, H y K.
2. Autocontrol de la producción del balasto	B, C, D, E, F, G, H, I, y J.
3. Durante la construcción de la infraestructura de vía.	
4. Durante la vida útil del proyecto	A (sí aplica), B, C, D, E, F, G, H e I. Alternativamente se puede optar por realizar una prueba L a todo el tramo del cual se desea obtener la conformidad.
5. Durante la ejecución de una obra de mantenimiento ferroviario	Las mismas que durante la construcción de la infraestructura de vía, de acuerdo al apartado de 3 de esta tabla.

Tabla 25. Pruebas que deberán ser aprobadas para la evaluación de la conformidad favorable.

### 3.15. Requisitos que debe cumplir la Entidad de Acreditación y el OEC

**3.15.1.** La Entidad de Acreditación y el OEC deben cumplir los requisitos generales solicitados en la Tabla 26 y los particulares establecidos en la Tabla 27 para poder participar en la Evaluación de la Conformidad de este lineamiento.

Sujeto obligado	Requisitos generales de cumplimiento	
	Artículo / disposición	Ordenamiento
Entidad de Acreditación	Artículos 43 al 48	Ley de la Infraestructura de la Calidad
	Artículos 49 al 52	
Organismo de Evaluación de la Conformidad	Artículos 43 al 48	
	Artículos 53 al 61	
	Todas las disposiciones	Norma Mexicana NMX-EC-17020-IMNC-2014 o la vigente que la sustituya

Tabla 26. Requisitos generales que deben cumplir la Entidad de Acreditación y el OEC.





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE  
FERROVIARIO



operaciones; y adicionalmente un plazo de 60 días para obtener los certificados correspondientes de Evaluación de la Conformidad.

- 5.2. Para el primer año, el cálculo al que hace referencia el numeral 1.4.2, se realizará de acuerdo con el APENDICE 3.
- 5.3. En cumplimiento de lo establecido en los artículos 78 de la Ley General de Mejora Regulatoria y Quinto del Acuerdo que fija los lineamientos que deberán ser observados por las dependencias y organismos descentralizados de la Administración Pública Federal, en cuanto a la emisión de los actos administrativos de carácter general a los que les resulta aplicable el artículo 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, se reducen los costos asociados a los siniestros ferroviarios de conformidad con las disposiciones vigentes.

## 6. Bibliografía.

- American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA), "Manual of Railway Engineering". 2021.
- ASTM E11-20, Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C25-19, Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C295 / C295M-19, Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C136 / C136M-19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C117-17, Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C142 / C142M-17, Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C131 / C131M-20, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C535-16, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM C88 / C88M-18, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM D4791-19, Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM D2166 / D2166M-16, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Alonzo, L., & Espinosa, L. (2003). Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán. Ingeniería Revista Académica, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, 7(1), 27-36.
- Ferestade, I., Tehrani, P. H., & Heidary, R. (2017). Fracture toughness estimation of ballast stone used in Iranian railway. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9(5), 892-899.
- Fontul et al. 2016. Railways Track Characterization Using Ground Penetrating Radar. National Laboratory for Civil Engineering (LNEC), Portugal.
- Gutiérrez, R. M. L. (2008). Investigación sobre el comportamiento de los distintos tipos de balasto ante la aplicación de los criterios de las diferentes normativas (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).





Konstantinos, G., Andreas, L., & Christina, P. Railway Ballast Requirements for High Speed and Heavy Haul Lines: Hardness, Fouling, Life Cycle.

Ministerio de Infraestructura Venezuela (2003). Composición granulométrica de los agregados finos. Gruesos y muestras de suelos. FLNV-MVAG-07/08 VERSIÓN 2. Venezuela.

NAV 3-4-0.2. NORMAS TÉCNICAS DE CONTROL DE CALIDAD. TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS-BALASTO. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF. España. 2007.

P.R.V 3-4-0.1. Balasto. Canteras suministradoras. Prescripciones geotécnicas y de instalaciones de fabricación Adaptado al pliego pf-6 del ministerio de fomento y las normas UNE-EN 13450 y UNE 146147. ADIF. España. 2007.

P.R.V 3-4-0.0. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO Y UTILIZACIÓN DEL BALASTO, ADAPTADO A LA NORMA UNE-EN 13450 Y A LA NORMA UNE 14147. Renfe. España. 2004

Qian, Y., Boler, H., Moaveni, M., Tutumluer, E., Hashash, Y. M., & Ghaboussi, J. (2014). Characterizing ballast degradation through Los Angeles abrasion test and image analysis. Transportation Research Record, 2448(1), 142-151.

Rodríguez, Javier Alonso. (2006). La porosidad de las rocas carbonatadas. Departamento de Geología (Petrología y Geoquímica). Universidad de Oviedo, España.

Seoane Tomas, A. (2013). Nuevos materiales para su empleo como balasto en líneas de ferrocarril. Escola de Camins. UPC BARCELONATECH

Serveis ferroviaris de Mallorca. (Sin fecha). Pliego de prescripciones técnicas para la contratación del suministro y transporte de balasto para las vías de serveis ferroviaris de Mallorca. Mallorca, España

Tutumluer, E., Huang, H., Hashash, Y. M. A., & Ghaboussi, J. (2009, September). AREMA gradations affecting ballast performance using discrete element modeling (DEM) approach. In Proceedings of the AREMA 2009 annual conference, Chicago, Illinois, September (pp. 20-23).

UNE EN 13450 (2002). Norma europea áridos para balasto de vías férreas. Comité Europeo de Normalización. Bruselas, Bélgica.

Yitayew Alemu, A. (2011). Survey of railway ballast selection and aspects of modelling techniques. Division of Highway and Railway Engineering. Royal Institute of Technology, Stockholm

## APENDICE 1. Formato F1. (Informativo)

Título-Subtítulos	Objeto de evaluación	Mensurando	Sí (1)	No (0)	No aplica (1)	Medición (anotar medida, si aplica)	Anomalia detectada	Cantidad de unidades revisadas	Cantidad de unidades anómalas	Se ejecutó la disposición (1)	No se ejecutó la disposición (0)	Fotografía	Observaciones
Muestreo para el desarrollo de la fuente potencial	Volumen esperado de extracción para el proyecto o contrato y los puntos posibles de extracción	El desarrollador presenta el volumen esperado de extracción para el proyecto o contrato (VOL) y los puntos posibles de extracción (PE) en un mapa proyectando lotes de producción posibles.											
Muestreo para el desarrollo de la fuente potencial	Procesamiento o para la obtención de los lotes muestra	Para tres puntos de extracción como mínimo el desarrollador corta, procesa y tritura los lotes muestra (LTM), de los cuales, se tomará el muestreo de producción como se indica en los apartados correspondientes.											
Muestreo de la	Acopios de balasto	El contratista o productor de balasto dispone de											





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO



producción del balasto		acopios, que coloca al abrigo de cualquier tipo de contaminación de finos arrastrados por el viento, o que procedan de los diferentes tipos de áridos que se fabriquen y alejados de cualquier zona de tránsito de vehículos.																		
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	A partir las existencias de acopio, toma un muestreo removiendo de dos lugares distintos y opuestos representativos del mismo acopio con el cazo de una pala mecánica, desde una altura de 0.2 m sobre el suelo constituyendo dos muestras globales.																		
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	A partir de cada muestra global se toman, con una pala manual, desde el caso de la pala mecánica, dos muestras unitarias de 40 o 50 kilogramos cada una, las cuales, se colocan en sacos de hule que impiden la modificación de las condiciones de humedad o limpieza del material. De esta manera se tienen 4 sacos de 40 a 50 kg.																		
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	La obtención de la muestra final para realización de los ensayos se efectúa por un procedimiento de cuarteo.																		
Muestreo de la producción del balasto	Herramientas para cuarteo mecánico	Si el cuarteo se realiza por la acción de cuarteadoras mecánicas, éstas están homologadas con apertura mínima de setenta y seis (76) milímetros. Solicitar especificaciones técnicas de las cuarteadoras.																		
Muestreo de la producción del balasto	Herramientas para cuarteo mecánico	Para el procedimiento de cuarteo manual se emplea una regla, una pala de fondo plano y borde recto, pala o cuchara de albañil,																		





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO



		una escoba o brocha, y una lona de aproximadamente 2 x 2.5 m (6 x 8 pies).											
Muestreo de la producción del balasto	Superficie de deposición de balasto para muestra	Las cuatro muestras unitarias son vertidas para ser colocadas sobre la lona, la cual, está sobre una superficie horizontal, plana, rígida y limpia hasta constituir un montón en forma de cono.											

Título-Subtítulos	Objeto de evaluación	Mensurando	Sí (1)	No (0)	No aplica (1)	Medición (anotar medida, si aplica)	Anomalía detectada	Cantidad de unidades revisadas	Cantidad de unidades anómalas	Se ejecutó la disposición (1)	No se ejecutó la disposición (0)	Fotografía	Observaciones
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	Las muestras de balasto de una vía que ya está en operación se recogen, para comprobar el estado de esta a efectos de realizar obras de reparación.											
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	Las muestras de balasto de una vía que ya está en operación se recogen como parte de una verificación de mantenimiento rutinaria de parte del concesionario o como parte de una inspección o verificación por parte de la ARTF.											
Muestreo de la producción del balasto	Puntos geográficos de recolección de muestras	La toma de muestras en la vía se realiza específicamente en los diferentes puntos kilométricos de la misma, según las instrucciones de la Agencia en el caso de una verificación o por parte de la empresa concesionaria o asignataria en el caso de una verificación de mantenimiento rutinaria.											
Muestreo de la producción del balasto	Herramientas y modo de recolección de muestras de balasto	Para un punto kilométrico en particular donde se levanta la muestra, se vacían totalmente tres espacios entre traviesas de durmientes, separados al menos una distancia de cuatro traviesas. El material extraído en dichos espacios constituye la											







# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO



		obtenida, la fecha, las etiquetas correspondientes de los sacos, las fechas de envío a laboratorio.												
Muestreo de la producción del balasto	Restitución del balasto	Se restituye y compacta con pico de bate el balasto extraído en este tipo de recogida de muestras mediante el balasto sobrante del cuarteo y se aporta, si es necesario, más cantidad de las zonas colaterales de la vía.												
Muestreo de la producción del balasto	Ejecución de ensayos	Al exigir la Agencia, aleatoriamente en el tiempo, la realización de tomas de muestras y envíos a laboratorio, éstas se llevan a cabo con las condiciones que se señalan. Solicitar evidencias y certificados de laboratorio.												

Título-Subtítulos	Objeto de evaluación	Mensurando	Sí (1)	No (0)	No aplica (1)	Medición (anotar medida, si aplica)	Anomalía detectada	Cantidad de unidades revisadas	Cantidad de unidades anómalas	Se ejecutó la disposición (1)	No se ejecutó la disposición (0)	Fotografía	Observaciones
Muestreo de la producción del balasto	Mezclado de balasto	Se mezcla el material completamente, traspaleando la muestra entera al menos tres veces.											
Muestreo de la producción del balasto	Mezclado de balasto	En el último traspaleo se forma, con la muestra, una pila cónica, depositando cada palada en la parte superior de la pila.											
Muestreo de la producción del balasto	Montículo de balasto mezclado	Cuidadosamente se aplana la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme en un montículo extendido circular de unos 20 centímetros de altura, de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en él.											
Muestreo de la producción del balasto	Mezclado de balasto	Con una pala o cuchara, la masa aplanada, se extiende y se divide en cuatro sectores iguales.											
Muestreo de la producción del balasto	Muestras de balasto	Los volúmenes de dos sectores opuestos se mezclan y homogeneizan y,											





# COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



# ARTF

AGENCIA REGULADORA DEL TRANSPORTE FERROVIARIO



		con el volumen de dicha mezcla, se repite el proceso anterior hasta obtener una masa de al menos cuarenta (>40) kilogramos de material que constituirá una muestra final obteniendo 4 muestras finales.																			
Muestreo de la producción del balasto	Etiquetado de las muestras	En las muestras finales recogidas en sacos, se especifica claramente los lugares de toma de las mismas, la fecha y quedan debidamente etiquetadas y precintadas.																			
Muestreo de la producción del balasto	Encapsulamiento de muestras de balasto	Cada muestra (mayor a 40 kg) se reparte en dos sacos debidamente referenciados a fin de reducir a la mitad el esfuerzo que se ha de realizar al manipularlos.																			
Muestreo de la producción del balasto	División y almacenaje de muestras de balasto	Las muestras finales colocadas en sacos se reparten de la siguiente manera: Dos de las muestras se ensayan en el laboratorio, una permanece en el almacén de la cantera y la otra en el archivo de muestras del laboratorio por un tiempo mínimo de 2 meses para posibles ensayos.																			
Muestreo de la producción del balasto	Almacenaje y registro de muestras de balasto	El contratista o productor del balasto realiza un registro de las muestras finales tomadas, enviadas y almacenadas, el cual, es resguardado en la cantera por un periodo de 3 meses a partir de concluido el contrato y remite una copia a la empresa constructora para ser integrado en la bitácora de obra o libro de obra de manera mensual durante la duración del contrato.																			
Muestreo de la producción del balasto	Registro de muestras de balasto	El registro contiene los datos de ubicación de la toma, la fecha, las etiquetas																			





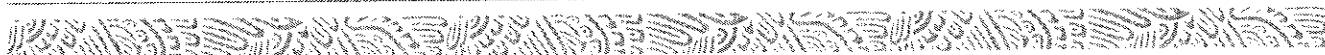
		correspondientes de los sacos, las fechas de envío y puntos de la obra en a los que fueron remitidos.												
Muestreo de la producción del balasto	Ejecución de ensayos	Al exigir la Agencia, aleatoriamente en el tiempo, la realización de tomas de muestras y envíos a laboratorio, éstas se llevan a cabo con las condiciones que se señalan. Solicitar evidencias y certificados de laboratorio.												

### APENDICE 2. Formato de registro georreferenciado. (Informativo)

Línea	PK Inicial	Latitud inicial	Longitud inicial	PK Final	Latitud final	Longitud final	Longitud de tramo
Nombre de la vía	Kilometraje inicial incluyendo valores decimales hasta tres (3) posiciones. Ejemplo: 10.287	Coordenada geográfica en formato decimal incluyendo seis (6) posiciones. Los valores para la latitud son siempre positivos y se encontrarán entre los rangos de 32.718333 y 11.968611.	Coordenada geográfica de la estación en formato decimal incluyendo seis (6) posiciones. Los valores para la longitud son siempre negativos y se encontrarán entre los rangos de -122.170277 y -84.641666.	Kilometraje final incluyendo valores decimales hasta tres (3) posiciones. Ejemplo: 10.287	Coordenada geográfica en formato decimal incluyendo seis (6) posiciones. Los valores para la latitud son siempre positivos y se encontrarán entre los rangos de 32.718333 y 11.968611.	Coordenada geográfica de la estación en formato decimal incluyendo seis (6) posiciones. Los valores para la longitud son siempre negativos y se encontrarán entre los rangos de -122.170277 y -84.641666.	Extensión en kilómetros

Para el caso de ubicaciones puntuales, se quedaría un sólo valor de kilometraje y dos pares de coordenadas (latitud y longitud).

Se deberá indicar el tipo de actividad a georreferenciar (prueba, sondeo, etc.)



**APENDICE 3. Registros de longitud de vía clasificados según los millones de carga anuales**

Concesionario	Kilometraje clasificado en 2020			
	Alta	Media	Baja	Total
Ferrocarril Mexicano S.A. de C.V.	1919.39	7258.68	4375.48	13553.54
Ferrosur S.A. de C.V.	44.20	1490.95	1436.84	2971.99
Kansas City Southern de México S.A. de C.V.	1643.11	2384.40	2340.73	6368.24
Ferrocarril y Terminal del Valle de México S.A. de C. V	37.50	166.53	205.14	409.18
Línea Coahuila Durango S.A. de C.V.	0.00	416.40	1299.19	1715.59
Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec S.A. de C.V.	0.00	194.60	2519.78	2714.37
Estado de Baja California - Administradora de la Vía Corta Tijuana-Tecate	0.00	0.00	92.68	92.68

Datos obtenidos de acuerdo al anuario estadístico ferroviario 2020, con una longitud reportada de 28,618.65788 km. No se consideran en esta tabla 1325.28 kilómetros.

**APENDICE 4. Ejemplo de utilización de la fórmula estadística**

**Ejemplo.** El concesionario "Nacional Ferrocarril" cuenta actualmente con 1327.5 km de vía ferroviaria Mixta, suponiendo que a lo largo de los años los kilómetros de vía de importancia Mixta de "Nacional Ferrocarril" no cambian, la fórmula estadística se utiliza de la siguiente manera:

Valores:

N = 1327.4 km

Za = 1.96.

e = 5% (0.05).

p = 0.9

q = (1-p) = 0.1

Sustitución:

$$n = \frac{N Z a^2 p q}{e^2 (N - 1) + Z a^2 p q} = \frac{1327.4 \text{ km} * 1.96^2 * 0.9 * 0.1}{(0.05^2 * (1327.4 - 1)) + (1.96^2 * 0.9 * 0.1)}$$

$$n = 125.33 \text{ muestras} = 126 \text{ muestras}$$

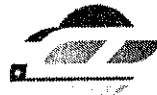
Se deberán tomar 126 muestras a lo largo de los 1327.4 km de vía ferroviaria.





**COMUNICACIONES**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**ARTF**

AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE  
FERROVIARIO



Suponiendo que, una vez realizadas las pruebas, se obtiene que el 70% del total de las muestras cumplen con todos los parámetros solicitados os valores p y q para la inspección del siguiente año serán  $p=0.7$  y  $q=0.3$ .

Para el siguiente año el número de muestras se obtiene de la siguiente manera:

Valores:

$N = 1327.4 \text{ km}$

$Za = 1.96$ .

$e = 5\% (0.05)$ .

$p = 0.7$

$q = (1-p) = 0.3$

Sustitución:

$$n = \frac{N Z a^2 p q}{e^2 (N - 1) + Z a^2 p q} = \frac{1327.4 \text{ km} * 1.96^2 * 0.7 * 0.3}{(0.05^2 * (1327.4 - 1)) + (1.96^2 * 0.7 * 0.3)}$$

$$n = 259.74 \text{ muestras} = 260 \text{ muestras}$$

Ciudad de México, a 02 de febrero de 2022.

**EL TITULAR DE LA AGENCIA REGULADORA  
DEL TRANSPORTE FERROVIARIO**

**DR. DAVID CAMACHO ALCOCER**

