

**IMPLEMENTACION EN EL LABORATORIO DE PAVIMENTOS DEL ENSAYO
DE 10% DE FINOS**

**CARLOS GILBERTO ARAQUE HERNANDEZ
SILVIA NATALIA FIGUEROA JAIMES**

**UNIVERSIDAD INSUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

2009

**IMPLEMENTACION EN EL LABORATORIO DE PAVIMENTOS DEL ENSAYO
DE 10% DE FINOS**

**CARLOS GILBERTO ARAQUE HERNANDEZ
SILVIA NATALIA FIGUEROA JAIMES**

**Tesis de grado modalidad investigación
Para optar título de:
Ingeniero Civil**

**Director:
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON
Ingeniero Civil, M. Sc., Ph D**

**UNIVERSIDAD INSUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
BUCARAMANGA
2009**

Este trabajo lo dedico al Señor por darme vida y salud para realizarlo.

*A mis padres Carlos Gilberto y Luidina Hernández por brindarme amor,
confianza y la posibilidad de realizar mis sueños.*

*A mis hermanos Ronald Edgardo y Camila Andrea por estar junto a mí
ofreciéndome apoyo.*

*A doña Esperanza, don Manuel, Luz Mila y don Juan porque con su ayuda
tuve un bienestar durante todos estos años de estudio.*

A Natalia por compartir conmigo esta etapa trascendental para mi vida.

*A mis amigos porque con ellos compartí momentos agradables y aprendí de
ellos enseñanzas valiosas.*

CARLOS GILBERTO ARAQUE HERNANDEZ

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios, ya que sin Él nada podemos hacer. Dios es quien nos concede el privilegio de la vida y nos ofrece lo necesario para lograr nuestras metas.

A mis padres, Hermana y abuelos quienes me apoyaron incondicionalmente durante mi carrera y me brindaron su cariño, su estímulo y su apoyo constante.

A Carlos por que es parte importante de mi vida, por estar siempre presente desde aquel momento.

A todas aquellas personas que me apoyan, que siempre están conmigo en las buenas y en las malas; Y a los que nunca dudaron que lograría este triunfo.

SILVIA NATALIA FIGUEROA JAIMES

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las siguientes personas y entidades que con su colaboración hicieron posible la culminación de esta investigación:

Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón M. Sc., Ph D, que como director nos brindó su orientación y atención durante la realización del trabajo.

A Jairo y Germán por prestarnos su colaboración en el laboratorio.

Esgamo Ltda., por ayudarnos con el suministro de material.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	2
GENERALES	2
ESPECIFICOS	2
1. ASPECTOS GENERALES	3
1.1 BASES DE PAVIMENTOS	4
2. METODOLOGIA DE ESTUDIO	8
2.1 DESCRIPCION.....	8
2.2 MATERIALES EMPLEADOS.....	9
2.2.1 Agregados pétreos	9
2.3 ENSAYOS REALIZADOS.....	10
2.3.1 Preparación de la muestra	10
2.3.2 Ensayo en la Máquina de los Ángeles.....	11
2.3.3 Ensayo de 10% de finos (condición seca).....	14
2.3.4 Ensayo de 10% de finos (condición húmeda)	20
2.3.5 Prueba de mineralogía	21

3.	ANALISIS DE RESULTADOS	24
3.1	RESULTADOS ENSAYO DE DESGASTE	24
3.2	RESULTADOS ENSAYO DE 10% DE FINOS	26
3.2.1	Relación Húmedo/Seco de los agregados	29
3.3	RESULTADO PRUEBA DE MINERALOGIA	29
4.	CONCLUSIONES	32
5.	RECOMENDACIONES	33
	BIBLIOGRAFÍA	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometrías de la muestra de agregado para el ensayo	12
Tabla 2. Carga abrasiva.....	13
Tabla 3. Granulometría empleada en el ensayo de 10% de finos.....	16
Tabla 4. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra	17
Tabla 5. Cuadro resumen desgaste a 100 revoluciones.....	24
Tabla 6. Cuadro resumen desgaste a 500 revoluciones.....	24
Tabla 7. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Chicamocha	26
Tabla 8. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Bocas	27
Tabla 9. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Río de Oro.....	27
Tabla 10. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Sogamoso	27
Tabla 11. Relación Húmedo/Seco de los agregados.....	29
Tabla 12. Composición mineralógica material Sogamoso	29
Tabla 13. Composición mineralógica material Bocas	30
Tabla 14. Composición mineralógica material Chicamocha	30
Tabla 15. Composición mineralógica material Río de Oro.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuerzas en el pavimento provocadas por el tráfico	4
Figura 2. Agregados utilizados en los ensayos.....	9
Figura 3. Material extendido para el secado	10
Figura 4. Maquina de los Angeles.....	11
Figura 5. Carga abrasiva utilizada	13
Figura 6. Equipo utilizado para el ensayo de 10% de finos	15
Figura 7. Equipo con el material en su interior listo para ser ensayado.....	17
Figura 8. Compresión de la muestra en la máquina universal	18
Figura 9. Agregado sumergido en agua y secado luego de aplicar la carga	20
Figura 10. Fragmentos resultados del ensayo de 10% de finos	21
Figura 11. Esquema comparativo del desgaste de cada material.....	25
Figura 12. Esquema que muestra la uniformidad de las muestras	25
Figura 13. Comparación de la resistencia mecánica de los agregados	28
Figura 14. Esquema porcentual de composición mineralógica.....	31

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje de finos	18
Ecuación 2. Carga que produce un 10% de finos	19

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Norma I.N.V.E – 224 – 07	35
ANEXO B: Abrasión de agregados en la máquina de los Angeles	40
ANEXO C: Resistencia mecanica de agregados por el método de 10% de finos..	45
ANEXO D: Tablas 400.1(b) y 400.1(c) Especificaciones generales de construcción de carreteras.....	50

RESUMEN

TITULO:

IMPLEMENTACION EN EL LABORATORIO DE PAVIMENTOS DEL ENSAYO DE 10% DE FINOS

AUTORES:

ARAQUE HERNANDEZ, Carlos Gilberto
FIGUEROA JAIMES, Silvia Natalia

PALABRAS CLAVES:

ENSAYO DE 10% DE FINOS
DUREZA
RESISTENCIA MECANICA

DESCRIPCION

El ensayo de 10% de finos es un método empleado para la caracterización de agregados pétreos utilizados en la construcción de pavimentos el cual busca evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso a la trituración determinando la carga a compresión necesaria para producir un 10% de finos en el agregado.

Los materiales que constituyen un pavimento están sometidos constantemente a fuerzas de compresión y de fricción por esta razón es importante que presenten altas características de dureza y resistencia mecánica, entendiéndose por dureza como la resistencia a la abrasión que pueda tener un agregado.

En esta investigación se estudiaron cuatro tipos de agregados gruesos evaluando la dureza de estos a través del ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles y caracterizando su resistencia mecánica mediante el ensayo de 10% de finos. Con los resultados obtenidos en estas pruebas se clasificaron los materiales identificando los mas apropiados para constituir una capa granular y se estudió la relación existente entre las dos pruebas aplicadas concluyendo que el agregado que presentaba mayor resistencia mecánica también era el que tenía mayor dureza o resistencia a la abrasión.

Por último se compararon los resultados obtenidos en el ensayo de 10% de finos con los requisitos establecidos en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras publicadas por el INVIAS en el año 2007, para saber que agregados daban cumplimiento a las exigencias requeridas.

* Proyecto de grado

** Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON.

ABSTRACT

TITLE:

IMPLEMENTATION IN THE LABORATORY OF PAVEMENTS OF THE 10% OF FINE TEST

AUTHORS:

ARAQUE HERNANDEZ, Carlos Gilberto
FIGUEROA JAIMES, Silvia Natalia

KEYWORDS:

THE 10% OF FINE TEST
HARDNESS
MECHANICAL RESISTANCE

DESCRIPTION

The 10% of fine test is a method used for the characterization of rock aggregate used in the construction of pavements which look for evaluating the mechanical resistance of a thick aggregate to the triturating by determining the compression load necessary to produce 10% of fine in the aggregate.

The materials that constitute a pavement are subjected to constantly compression and friction forces, for this reason is important they present high characteristic of hardness and mechanical resistance, meaning the hardness like the resistance to the abrasion that can have an aggregate.

In this investigation four types of thick aggregates were studied by evaluating the hardness of these through the wear test in the machine of the Ángel and characterizing their mechanical resistance by means of the 10% of fine test. With the results obtained in these tests the materials were classified identifying the most appropriate materials to constitute a granular layer and the existent relationship was studied among the two applied tests concluding that the aggregate that presented bigger mechanical resistance was also the one that had bigger hardness or resistance to the abrasion

Lastly the results were compared in the 10% of fine test with the requirements established in the General Specifications of Construction of Highways published by INVIAS in the year of 2007, to know that added they gave execution to the required demands.

* Degree Thesis

** Physical-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. Director: Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

INTRODUCCION

Las especificaciones de construcción del Instituto Nacional de Vías publicado en el año 2007 han implementado un nuevo ensayo de laboratorio para caracterizar materiales de mezcla asfáltica el cual busca establecer la capacidad del agregado de producir finos.

Este proyecto tiene como finalidad la implementación del ensayo en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander, para que a través de pruebas a los distintos materiales de construcción utilizados en Bucaramanga se verifique el cumplimiento de las nuevas especificaciones. Además de esto se estudiara la relación al desgaste que existe entre el ensayo de 10% de finos y el ensayo en la maquina de los Ángeles que es otro método por el cual es posible caracterizar agregados pétreos.

Como objeto de análisis se estudiaran muestras de agregados que son explotados de canteras como la del río Sogamoso, Chicamocha, Río de Oro y Bocas con el fin de comprobar la calidad de los mismos y establecer el comportamiento ante las pruebas anteriormente mencionadas.

Una vez terminado este proyecto el laboratorio de pavimentos de la Universidad Industrial de Santander contará con el equipo necesario para caracterizar materiales de construcción mediante el ensayo de 10% de finos.

OBJETIVOS

GENERALES

El objetivo general de este proyecto es implementar en el laboratorio de la Universidad de Santander el ensayo de 10% de finos.

ESPECIFICOS

- Estudiar las propiedades de diferentes tipos de materiales, traídos de distintas canteras que suministran la construcción en la ciudad de Bucaramanga; caracterizando el valor de 10% de finos de dichos materiales.
- Estudiar la relación al desgaste que existe entre el ensayo de 10% de finos y el ensayo de la máquina de los Ángeles.
- Determinar la repetitividad de los ensayos de 10% de finos de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos en Bucaramanga.

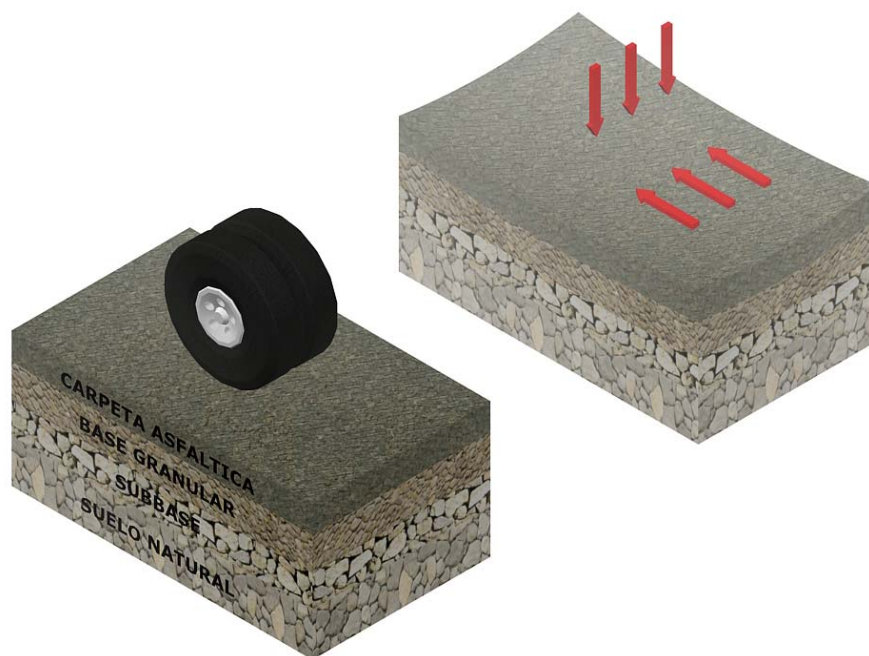
1. ASPECTOS GENERALES

El ensayo de 10% de finos fue implementado por el Instituto Nacional de Vías en el año 2007 con el objeto de caracterizar agregados pétreos utilizados en la construcción de pavimentos en Colombia y consiste básicamente en determinar la carga de compresión necesaria para producir un 10% de finos en el agregado grueso. Está basado en la norma *DNER-ME 096/98* empleada en Brasil y la norma británica *BS 812 part 110/90*, esto deja claro que no es un tema nuevo en otros países pero que hasta hace poco resultaba ajeno a nuestras técnicas de estudio de los agregados.

Como se mencionó anteriormente, es un ensayo nuevo en nuestro país y su implementación como método investigativo apenas se esta realizando lo que conlleva a la carencia de información respecto al tema. Esto hace que la Universidad Industrial de Santander sea una de las pocas instituciones que cuente con este tipo de servicio aumentando la competitividad frente a otras entidades en lo referente a estudios de materiales para la construcción de pavimentos a nivel nacional.

Es necesario tratar también ciertas definiciones y temas relacionados con las características que deben tener los agregados puesto que son el objeto de estudio en esta investigación además de la implementación del ensayo. Uno de los principales usos que se da al agregado grueso es la conformación de bases y sub-bases granulares igualmente la construcción de carpetas asfálticas, estos son escenarios donde el material esta sometido a fuerzas de fricción y compresión (figura 1) producto del paso constante de vehículos que hacen que el agregado se desgaste o se quiebre.

Figura 1. Fuerzas en el pavimento provocadas por el tráfico



Fuente: Los autores

1.1 BASES DE PAVIMENTOS

La base es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos, es estructuralmente la capa más importante de un pavimento flexible por su cercanía con la capa de rodadura. Esta capa tiene como finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezcla estabilizadas con cemento u otro material ligante¹.

¹ MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly Fabián, MORA ASCENCIO, Raúl Enrique. Análisis de las características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como material de bases granulares. Proyecto de grado. UIS 2008.

En general las especificaciones técnicas que debe cumplir un material utilizado como base granular son:

- Resistir las alteraciones de humedad y temperatura que se presenten, lo que indica que las propiedades mecánicas del material deben ser independientes a dichas condiciones
- Ofrecer una granulometría de manera que la fricción interna de las partículas proporcione alta resistencia a la aplicación de esfuerzos.
- No presentar cambios de volumen según las condiciones a las que se encuentre sometido.
- Presentar alto grado de compactación.

Cumpliendo con dichas especificaciones se espera que el material presente características ideales de resistencia, rigidez y durabilidad frente al sometimiento de las cargas a las que se encuentra sujeta, dichas características son relevantes por lo siguiente:

Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión, desgaste o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de la roca madre. Este factor cobra importancia principalmente cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de los pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros. La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de firme después de su puesta en servicio².

² CAMACHO GRASS, Maryury Paola. Diseño y elaboración de documentación soporte para las clases de diseño de pavimentos en el programa de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. UIS 2008.

La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio, sin embargo ninguno de ellos caracteriza el estado tensional del agregado en el conjunto del firme. Se realizan una serie de ensayos que tienden a reproducir en laboratorio de manera mas sencilla el comportamiento que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obras, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona la resistencia mecánica del material.

Rigidez

Es necesario que el material que estará bajo la acción de cargas no se fracture, se rompa o se deforme, provocando que la distribución del tamaño de las partículas se vea afectada y causando a la vez deformaciones en las capas superiores, haciendo que la estructura general se comporte de manera diferente y posiblemente desfavorable ya que no ofrecerá la misma capacidad de soporte iniciales esperada, por tales razones el material debe ser rígido. Es por esto que un material es rígido cuando su desgaste es bajo.

Durabilidad

Es la capacidad de soportar, durante su vida útil, las condiciones físicas a las que se encuentra expuesta y que podrían llevar a provocar su degradación como consecuencia de los efectos diferentes a las cargas y condiciones consideradas en su estudio. Esta característica se encuentra relacionada con el desgaste entendido por esto que el material de base granular debe conservar y mantener las propiedades físicas y mecánicas al verse sometidos a las cargas abrasivas así como también mantener su distribución granulométrica³.

³ MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly Fabián, MORA ASCENCIO, Raúl Enrique. Análisis de las características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como material de bases granulares. Proyecto de grado. UIS 2008.

Pero hay que tener en cuenta que esos materiales en su vida útil se pueden comportar diferente a como se estima que se comportaron en todos los estudios realizados en el laboratorio, sobre todo porque los materiales granulares sufren cambio causados por la acumulación de esfuerzos, provocado muchas veces fracturamiento alterando las características físicas y mecánicas del material.

2. METODOLOGIA DE ESTUDIO

2.1 DESCRIPCION

En este capitulo se describe el proceso con el cual fueron realizados los ensayos que se aplicaron a cada uno de los agregados y se cuenta paso a paso las etapas por las que estos pasaron desde la preparación de la muestra hasta los resultados obtenidos. A continuación se enumeran las prácticas realizadas:

- Desgaste en la Máquina de los Ángeles
- Ensayo de 10% de finos
- Prueba de mineralogía

La presente investigación se desarrollo cumpliendo las siguientes etapas:

- Documentación
- Adquisición de equipos
- Preparación del material de ensayo
- Ensayo de las muestras
- Análisis de resultados
- Conclusiones

2.2 MATERIALES EMPLEADOS

2.2.1 Agregados pétreos

La procedencia de los materiales utilizados en esta investigación es diversa ya que son explotados de canteras ubicadas en distintas regiones cerca de la ciudad, cada uno identificado como material Río de Oro, Bocas, Sogamoso y Chicamocha, mostrados en la figura 2.

El suministro de los agregados fue hecho por el laboratorio de Caracterización de materiales en el caso del Chicamocha y el Río de Oro, la empresa Esgamo Ltda. facilitó el material proveniente del río Sogamoso y el agregado del Bocas fue obtenido por medio de construcciones donde era utilizado.

Figura 2. Agregados utilizados en los ensayos



Fuente: los autores

2.3 ENSAYOS REALIZADOS

2.3.1 Preparación de la muestra

Una vez obtenidos los materiales destinados para los ensayos es necesario prepararlos debidamente según lo estipulado por la norma para que los resultados sean los más acertados.

Como primera medida cada material fue sometido a un proceso de secado a temperatura ambiente como se muestra en la figura 1 para su debida utilización en cada prueba. Esto fue necesario hacerlo porque algunas de las muestras conseguidas presentaban un alto grado de humedad y para este tipo de pruebas se exige que el material utilizado se encuentre prácticamente seco.

Figura 3. Material extendido para el secado



Fuente: los autores

2.3.2 Ensayo en la Máquina de los Ángeles

Este ensayo tiene como finalidad la determinación de la resistencia al desgaste que tienen los agregados gruesos, es importante que estos sean capaces de resistir altas cargas abrasivas puesto que estarán expuestos a la fricción provocada por el paso de los vehículos sobre la capa de rodadura. Para este análisis se tuvo como parámetro la norma INVE-218 – 2007 del Instituto Nacional de Vías.

Equipo utilizado

Para llevar a cabo este ensayo fue necesario el uso de la máquina de los ángeles y un juego de esferas como se muestra en la figura 2, esta prueba fue realizada en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 4. Máquina de los Ángeles



Fuente: los autores

Granulometría y masa de los agregados

Siguiendo lo enunciado por la norma el agregado debe tener una gradación específica para determinar la carga abrasiva a la que se va a ser sometido. Para este caso se utilizó la granulometría de ensayo B mostrada a continuación debido a que es similar a la requerida en el ensayo de 10% de finos.

Tabla 1. Granulometrías de la muestra de agregado para el ensayo

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Masa de la muestra para ensayo (g) Granulometrías			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1 1/2)	25.0	(1)	1250±25	...	...	...
25.0	(1)	19.0	(3/4)	1250±25	...	...	...
19.0	(3/4)	12.5	(1/2)	1250±10	2500±10	...	...
12.5	(1/2)	9.5	(3/8)	1250±10	2500±10	...	...
9.5	(3/8)	6.3	(1/4)	...	...	2500±10	...
6.3	(1/4)	4.75	(No.4)	...	...	2500±10	...
4.75	(No.4)	2.36	(No.8)	...	...	...	5000±10
TOTALES				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: Norma I.N.V.E 218 - 07

Cuando el material ha pasado por los tamices indicados se toma la masa necesaria para cada fracción y se pesa en una balanza digital con precisión de ±10 gramos hasta completar la cantidad suficiente que requiere el ensayo. Es aconsejable lavar la muestra antes de realizar lo anteriormente dicho con el fin de remover cualquier impureza que este presente y eliminar el exceso de polvo, en este caso no se tuvo en cuenta el lavado previo pues los materiales no presentaban costras u otras impurezas que afectaran los resultados.

Carga abrasiva

Como carga abrasiva se utilizó esferas de acero con un diámetro aproximado de 46.8 mm y una masa de más o menos 420 gramos; el número de esferas y la masa correspondiente fue determinado de acuerdo a la granulometría de ensayo

escogida, como se puede apreciar en la tabla para cada granulometría corresponde un determinado número de esferas y su masa se encuentra definida según sea el caso.

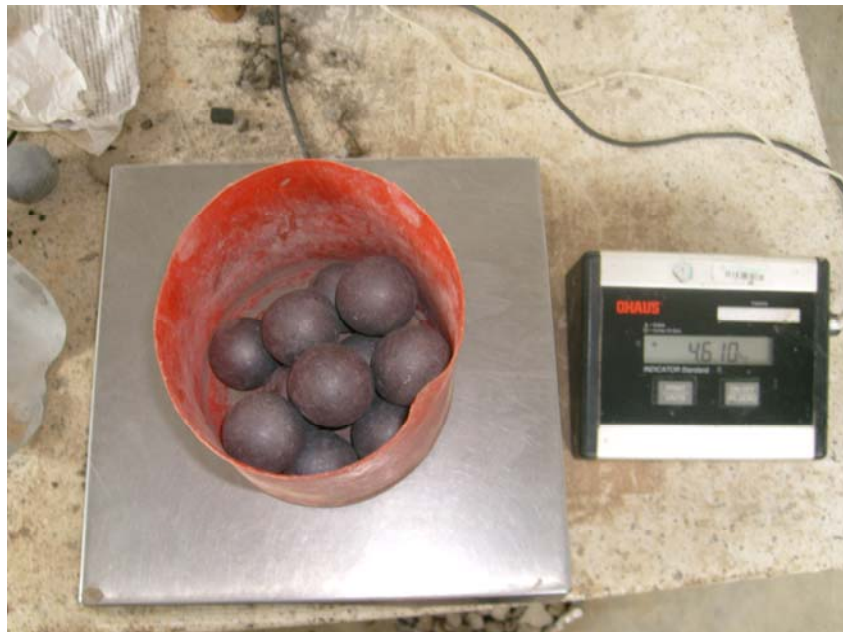
Tabla 2. Carga abrasiva

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Masa total g
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Fuente: Norma I.N.V.E 218 – 07

En el ensayo se emplearon 11 esferas cuya masa fue igual a 4610 gramos lo cual indica que esta dentro de los parámetros exigidos como lo muestra la tabla anteriormente expuesta.

Figura 5. Carga abrasiva utilizada



Fuente: los autores

Después de tener el material y la carga abrasiva listos para el ensayo se realizó el siguiente procedimiento:

Primero se comprobó que la máquina estuviese limpia, se colocó la muestra y la carga abrasiva correspondiente dentro del cilindro y se hizo girar a una velocidad constante durante un tiempo determinado hasta completar 100 revoluciones, al cabo de 3 minutos se extrajo el material de la máquina y se hizo una separación preliminar de la muestra empleando un tamiz de 1.70 mm (No.12) luego se tomó la medida del desgaste sufrido hasta ese momento; después se introdujo nuevamente el material en la máquina y se puso a girar hasta completar las 500 revoluciones como lo indica la norma, el tiempo total al que fue expuesta cada una de las muestras fue de 15 minutos al cabo del cual se tomó nuevamente una medida del desgaste.

La razón por la que se mide el desgaste a las cien revoluciones es para tener información sobre la uniformidad de la muestra, relacionando el desgaste obtenido a las 100 revoluciones con la pérdida luego de las 500 revoluciones no se debe sobrepasar en más de 0.2 para materiales de dureza uniforme.

El procedimiento anterior fue aplicado de igual manera para todos los materiales obtenidos de las diferentes canteras teniendo especial precaución de limpiar cuidadosamente la máquina antes de realizar cada prueba.

2.3.3 Ensayo de 10% de finos (condición seca)

Este ensayo busca evaluar la resistencia mecánica de un agregado, tomando como parámetro de referencia la carga de compresión necesaria que se debe aplicar al material para que se produzca un 10% de finos producto de la acción mecánica. Este ensayo se hizo siguiendo las especificaciones dadas en la norma I.N.V.E – 224 – 07 del Instituto Nacional de Vías.

Equipo utilizado

El equipo utilizado para ejecutar este ensayo esta conformado por diferentes partes como lo muestra la figura y se presenta detalladamente en el anexo A. Cada pieza que lo constituye es de acero inoxidable de alta resistencia; se puede apreciar en el esquema un pistón por medio del cual se aplican esfuerzos de compresión a la muestra, un recipiente cilíndrico que tendrá como objetivo proporcionar una medida en el ensayo, un cilindro de ensayo en donde será puesto el material a ensayar, un plato base circular para que el cilindro de ensayo encaje perfectamente en el y por último una varilla para compactación con una de sus puntas semiesférica.

Por ser la primera vez que se implementa este ensayo en la Universidad Industrial de Santander, el laboratorio de Caracterización de Materiales no contaba con el equipo anteriormente descrito de manera que este fue adquirido por la escuela de Ingeniería Civil a través de la empresa Pinzuar Ltda., empresa manufacturera que se dedica a la fabricación, mantenimiento, reparación y calibración de equipos para ensayo de materiales.

Figura 6. Equipo utilizado para el ensayo de 10% de finos



Fuente: los autores

Granulometría de los agregados

El tamaño de los agregados para esta prueba esta comprendido exclusivamente por aquellas partículas que pasen por el tamiz de (½”) 12.7 mm y queden retenidas en la malla de (3/8”) 9.5 mm. En la siguiente tabla se presenta la granulometría empleada.

Tabla 3. Granulometría empleada en el ensayo de 10% de finos

Pasa Tamiz		Retenido en tamiz	
mm	(alt.)	mm	(alt.)
37.5	(1 1/2)	25.0	(1)
25.0	(1)	19.0	(3/4)
19.0	(3/4)	12.5	(1/2)
12.5	(1/2)	9.5	(3/8)
9.5	(3/8)	6.3	(1/4)
6.3	(1/4)	4.75	(No.4)

Fuente: los autores

Procedimiento

Con el material seleccionado se llenó el recipiente cilíndrico en tres capas sucesivas de una misma altura aplicando en cada capa 25 golpes con la varilla de punta semiesférica, después se determinó la masa del agregado que fue contenida por el recipiente.

Luego de esto el cilindro de ensayo fue colocado y ajustado en el plato base y posteriormente llenado con la muestra en tres capas cada una compactada con 25 golpes con la varilla de compactación, seguidamente se introdujo el pistón de carga para aplicar la compresión al agregado y nivelar la superficie del material con el mismo.

Figura 7. Equipo con el material en su interior listo para ser ensayado



Fuente: los autores

Ya constituido el equipo para ser ensayado fue puesto en una máquina universal (dispositivo para aplicar esfuerzos de compresión) con capacidad para aplicar cargas de hasta 80 ton garantizando la transmisión de las mismas de una manera progresiva y sin sobresaltos. En la figura 8 se observa el tipo de maquina con la que se aplicaron las cargas de compresión.

Posteriormente se fue aplicando la carga de compresión progresivamente sobre el pistón hasta alcanzar una penetración en el cilindro de ensayo que fue escogida según la naturaleza del material como lo indica la siguiente tabla contenida en la norma.

Tabla 4. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra

Naturaleza del material	Penetración
Agregados constituidos de partículas redondeadas y sub-redondeadas	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares	20 mm
Agregados ligeros, que presentan vacíos en su interior	24 mm

Fuente: Norma I.N.V.E 224 – 07

Figura 8. Compresión de la muestra en la máquina universal



Fuente: los autores

Una vez alcanzada la penetración seleccionada se anotó el valor de la carga aplicada en toneladas y se sacó el material del cilindro de ensayo para ser tamizado por la malla (N° 8) 2.36 mm, al material retenido en el tamiz se le fue determinada su masa.

Finalizado el proceso se calculó el porcentaje de finos mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje de finos

$$f_1\% = \frac{ma - mr}{ma} \times 100$$

$f_1\%$ = porcentaje de finos.

m_a = masa del agregado que contiene el recipiente cilíndrico.

m_r = masa del material retenido por el tamiz (No 8).

En la norma se especifica un rango con valores permisibles para el porcentaje de finos calculado, este valor debe estar comprendido entre 7.5% y 12.5%. A cada material se le calculó el porcentaje de finos y para aquellos que superaron el 12.5% se repitió el ensayo disminuyendo la penetración del pistón en el cilindro, por el contrario a los que presentaron un valor inferior a 7.5% el ensayo fue repetido aumentando la penetración. El ensayo se realizó repetidas veces hasta obtener un porcentaje de finos adecuado.

Por último, con el porcentaje de finos calculado y el valor de la carga a compresión se calculó la fuerza en toneladas necesaria para producir un 10% de finos en el agregado ensayado mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2. Carga que produce un 10% de finos

$$C_{10} = \frac{14 X_1}{(f_1\% + 4)}$$

C_{10} = Carga necesaria para producir un 10% de finos en el agregado.

X_1 = Carga a compresión expresada en toneladas.

$f_1\%$ = Porcentaje de finos.

Todo el procedimiento descrito anteriormente se realizó para cada uno de los materiales estudiados.

2.3.4 Ensayo de 10% de finos (condición húmeda)

Para el ensayo de 10% de finos en condición húmeda se realizó el mismo procedimiento que para el estado seco con la única diferencia de sumergir los agregados en agua durante 48 horas antes de aplicar la carga de compresión, luego de fallar las muestras en la máquina universal los fragmentos de agregado fueron secados totalmente en un horno antes de ser tamizados y pesados para hallar la pérdida de material o producción de finos.

Esto se hizo con el propósito de calcular la relación húmedo/seco de cada agregado para comprobar si cumplen o no con las especificaciones dadas en las tablas 400.1(b), 400.1(c) del artículo 400-07 y 300.1 en el artículo 300-07 del Instituto Nacional de Vías. En el anexo D se presenta parte de estas tablas y se indica cuales especificaciones cumplen los agregados en lo referente a este ensayo.

Figura 9. Agregado sumergido en agua y secado luego de aplicar la carga



Fuente: los autores

2.3.5 Prueba de mineralogía

Esta prueba fue aplicada a los fragmentos resultantes del ensayo de 10% de finos y que atravesaron el tamiz (N° 8) 2.36 mm con el fin de establecer los minerales contenidos por estas partículas y así conocer su composición mineralógica. El ensayo lo realizó la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 10. Fragmentos resultados del ensayo de 10% de finos



Fuente: los autores

Descripción de la prueba

La descripción de las muestras contempla la distribución de partículas con tamaños que varían entre 0.177 a 0.125 mm (fracción retenida en el tamiz N° 100) implicando una distribución de tamaños desde arenas finas, arenas muy finas hasta arenas gruesas y arenas muy gruesas, esto en base a la escala de tamaños

Wenworth; el tamiz utilizado par la separación del material fue un tamiz (N° 100) de la referencia ASTM. El equipo utilizado para la separación de los mismos es un agitador de tamices de marca Rotat. La descripción macroscópica del resultado obtenido en el proceso de tamizaje se realizó utilizando un estereomicroscopio marca Nikon modelo 120.

Estudio de las fracciones y descripción sedimentológica

Se presenta la proporción de cada fracción en porcentaje a partir de la muestra total, se hace la descripción textura (tamaño medio, redondez, esfericidad) y finalmente la descripción composicional.

1. Material Río de Oro

Peso total de la muestra	281.4 gr.
Peso retenido en el tamiz (No 100)	186.5 gr
Porcentaje muestra analizada	66.3 %

2. Material Bocas

Peso total de la muestra	275.7 gr.
Peso retenido en el tamiz (No 100)	187.4 gr
Porcentaje muestra analizada	68.0 %

3. Material Sogamoso

Peso total de la muestra	328.6 gr.
Peso retenido en el tamiz (No 100)	221.5 gr
Porcentaje muestra analizada	67.4 %

4. Material Chicamocha

Peso total de la muestra	260.5 gr.
Peso retenido en el tamiz (No 100)	215.9 gr
Porcentaje muestra analizada	83.0 %

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 RESULTADOS ENSAYO DE DESGASTE

Tabla 5. Cuadro resumen desgaste a 100 revoluciones

Procedencia	Río de Oro	Bocas	Sogamoso	Chicamocha
Gradación usada	B	B	B	B
Número de esferas	11	11	11	11
Masa de las esferas (g)	4610	4610	4610	4610
Número de revoluciones	100	100	100	100
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000	5000	5000	5000
Peso muestra después del ensayo (Pb)	4440	4550	4625	4725
Pérdida del material (Pa-Pb)	560	450	375	275
%Desgaste $((Pa-Pb)/Pa)*100$	11.2	9	7.5	5.5

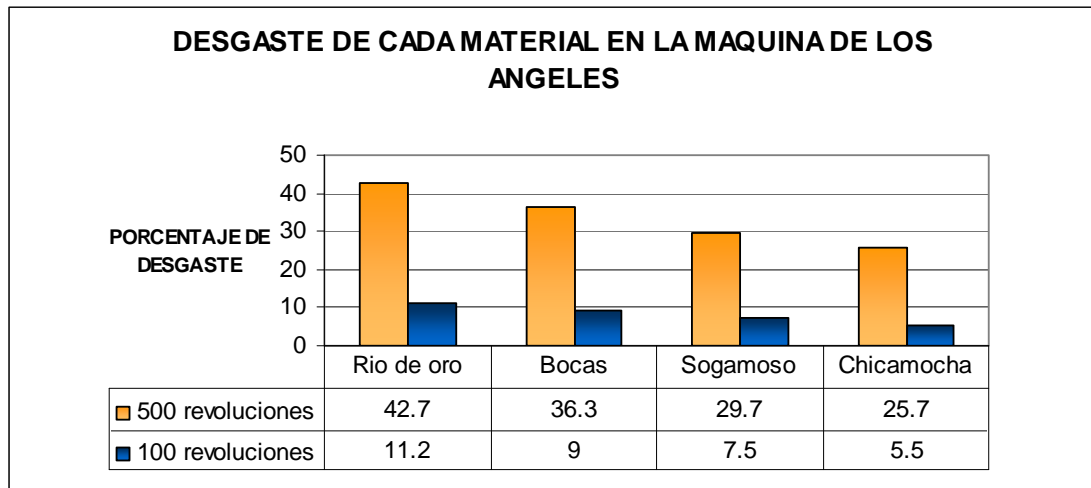
Como se puede observar en la tabla, el material que presentó mayor desgaste después de 100 revoluciones fue el Río de Oro seguido por los materiales Bocas, Sogamoso y Chicamocha respectivamente.

Tabla 6. Cuadro resumen desgaste a 500 revoluciones

Procedencia	Río de Oro	Bocas	Sogamoso	Chicamocha
Gradación usada	B	B	B	B
Número de esferas	11	11	11	11
Masa de las esferas (g)	4610	4610	4610	4610
Número de revoluciones	500	500	500	500
Peso muestra antes del ensayo (Pa)	5000	5000	5000	5000
Peso muestra después del ensayo (Pb)	2865	3185	3515	3715
Pérdida del material (Pa-Pb)	2135	1815	1485	1285
%Desgaste $((Pa-Pb)/Pa)*100$	42.7	36.3	29.7	25.7

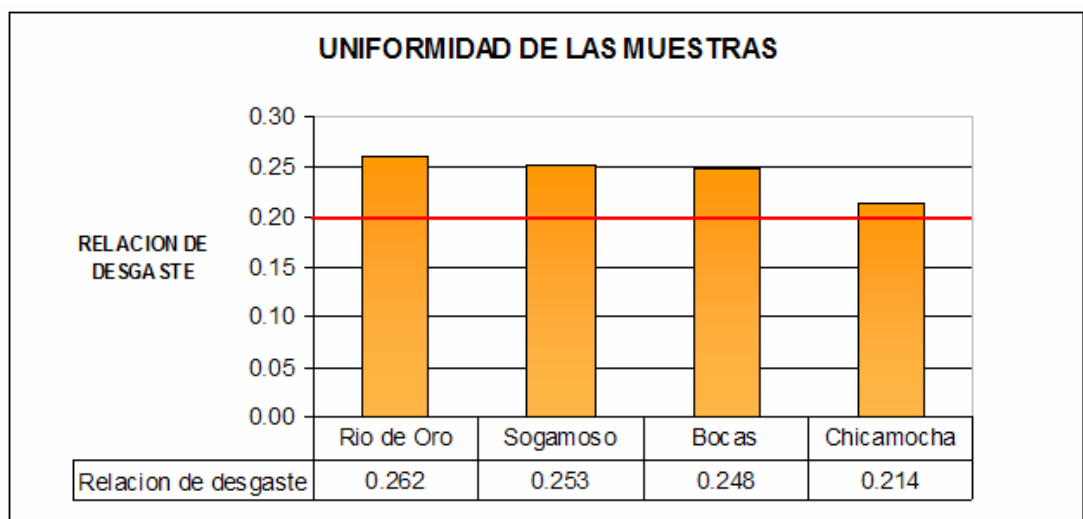
En el desgaste a 500 revoluciones se nota claramente que la pérdida de material fue proporcional a la mostrada al cabo de las 100 revoluciones porque nuevamente el material mas abrasivo fue el de Río de Oro siguiendo la misma secuencia hasta concluir que el material mas resistente fue el Chicamocha.

Figura 11. Esquema comparativo del desgaste de cada material



Podemos ver en la gráfica el comportamiento de cada material en el ensayo y se puede diferenciar la resistencia entre cada uno de ellos.

Figura 12. Esquema que muestra la uniformidad de las muestras



La figura 11 presenta una relación entre el desgaste a 100 revoluciones con el de 500 revoluciones, la norma indica que esta relación no debe exceder en mas de 0.2 para materiales de dureza uniforme según esto todas las muestras superaron dicho valor aunque la del Chicamocha fue la que mas se aproximó y mostró un mejor comportamiento.

3.2 RESULTADOS ENSAYO DE 10% DE FINOS

En esta prueba se ensayó primero el material del Chicamocha usándolo como referencia para escoger la penetración del pistón debido a que fue el que demostró mejores características de resistencia a la abrasión y también su uniformidad era la mejor, esto con el propósito de disminuir la repetitividad de los ensayos para los demás materiales.

Tabla 7. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Chicamocha

ESTADO DEL AGREGADO	SECO			HUMEDO
	1	2	3	1
N° de ensayos				
Masa de la muestra antes del ensayo (Ma)	2778.3	2775.5	2788.6	2791.2
Penetración del pistón (mm)	20	17	14	13
Valor de la carga en toneladas (X ₁)	32.5	31.5	28.5	23.3
Masa de la muestra después del ensayo y pasada por el tamiz #8 (Mr)	2395.0	2427.7	2478.7	2502.3
Porcentaje de finos (f ₁ %)=(Ma-Mr)/Ma*100	13.8	12.5	11.1	10.4
Carga necesaria en ton. que produce un 10% de finos (C10)=(14*X ₁)/(f ₁ %+4)	25.6	26.7	26.4	22.7

Para obtener un resultado adecuado fue necesario repetir este ensayo dos veces iniciando con un valor de penetración de 20 mm. Para la condición húmeda del agregado solamente bastó con una prueba porque ya se tenía un conocimiento previo de la penetración necesaria para producir el 10% de finos.

Tabla 8. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Bocas

ESTADO DEL AGREGADO	SECO			HUMEDO
	1	2	3	1
N° de ensayos	1	2	3	1
Masa de la muestra antes del ensayo (Ma)	2634.2	2623.4	2611.8	2645.7
Penetración del pistón (mm)	17	13	15	16
Valor de la carga en toneladas (X ₁)	16.3	9.9	13.3	10.2
Masa de la muestra después del ensayo y pasada por el tamiz #8 (Mr)	2312.9	2453.9	2359.7	2345.2
Porcentaje de finos (f ₁ %)=(Ma-Mr)/Ma*100	12.2	6.5	9.7	11.4
Carga necesaria en ton. que produce un 10% de finos (C10)=(14*X ₁)/(f ₁ %+4)	14.1	13.2	12.6	9.3

Tabla 9. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Río de Oro

ESTADO DEL AGREGADO	SECO		HUMEDO
	1	2	1
N° de ensayos	1	2	1
Masa de la muestra antes del ensayo (Ma)	2635.7	2576.0	2665.6
Penetración del pistón (mm)	15	12	13
Valor de la carga en toneladas (X ₁)	17.5	12.4	10.8
Masa de la muestra después del ensayo y pasada por el tamiz #8 (Mr)	2292.4	2356.0	2363.6
Porcentaje de finos (f ₁ %)=(Ma-Mr)/Ma*100	13	8.5	11.3
Carga necesaria en ton. que produce un 10% de finos (C10)=(14*X ₁)/(f ₁ %+4)	14.4	13.8	9.9

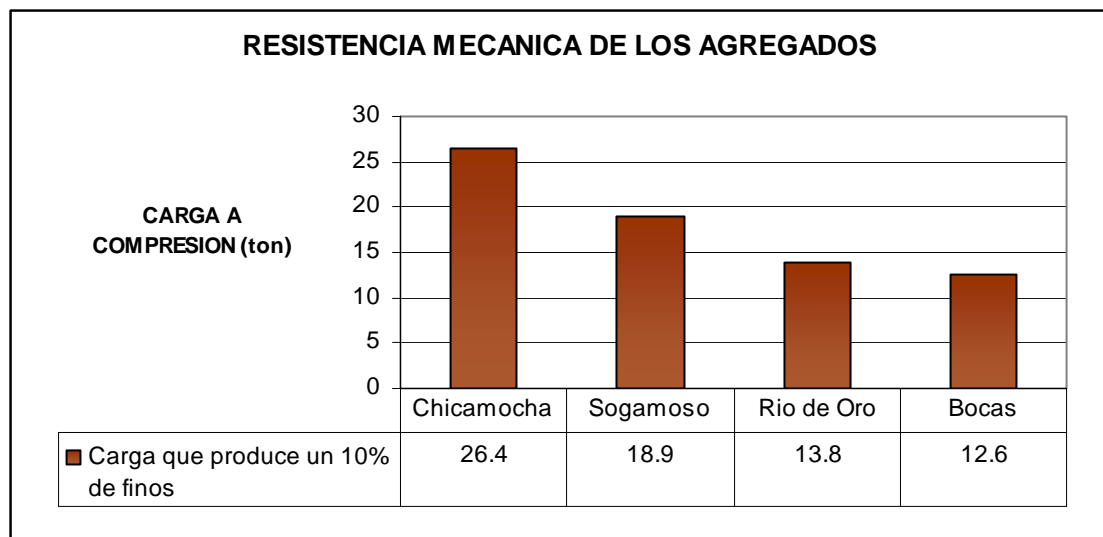
Tabla 10. Resultado del ensayo de 10% de finos para material Sogamoso

ESTADO DEL AGREGADO	SECO		HUMEDO
	1	2	1
PRUEBA	1	2	1
Masa de la muestra antes del ensayo (Ma)	2797.3	2831.7	2815.2
Penetración del pistón (mm)	15	13	14
Valor de la carga en toneladas (X ₁)	20.8	17.7	16.1
Masa de la muestra después del ensayo y pasada por el tamiz #8 (Mr)	2480.4	2573.5	2510.3
Porcentaje de finos (f ₁ %)=(Ma-Mr)/Ma*100	11.3	9.1	10.8
Carga necesaria en ton. que produce un 10% de finos (C10)=(14*X ₁)/(f ₁ %+4)	19.0	18.9	15.2

Considerando los anteriores resultados se tiene que el material Bocas tuvo una repetitividad de tres pruebas a pesar de que en el primer ensayo el porcentaje de finos estuvo dentro del rango permitido, se optó por realizar un segundo ensayo con el fin de buscar un valor mas exacto debido a que el primero se encontraba muy cercano al limite superior de 12.5%. El resultado de la segunda prueba alcanzó un valor por debajo de 7.5% porque se disminuyó excesivamente la penetración del pistón, es por esto que se ejecutó un tercer ensayo con una penetración intermedia a la de los dos ensayos anteriores y así el resultado arrojado fue muy aproximado al 10% y por consiguiente mas preciso.

Los agregados de Río de Oro y Sogamoso consiguieron un porcentaje de finos conveniente únicamente con dos repeticiones.

Figura 13. Comparación de la resistencia mecánica de los agregados



En el gráfico se observa claramente que el agregado con mayor resistencia mecánica es el del río Chicamocha, a este le siguen en su orden el de Sogamoso, Río de Oro y Bocas. A pesar que el material Bocas mostró la menor capacidad de carga, su resistencia esta por encima de la exigida en la norma superando el valor de 11 ton (110 KN) para una condición seca de la muestra.

3.2.1 Relación Húmedo/Seco de los agregados

La tabla mostrada a continuación expone la relación de los resultados obtenidos ensayando cada material en condiciones húmedo y seco.

Tabla 11. Relación Húmedo/Seco de los agregados

MATERIAL	ENSAYO DE 10% DE FINOS (KN)		
	Condición seco	Después de 48 horas de inmersión	Relación Húmedo/Seco
Chicamocha	264	228	86%
Sogamoso	189	152	80%
Bocas	126	93	74%
Riío de Oro	138	99	71%

3.3 RESULTADO PRUEBA DE MINERALOGIA

En el siguiente grupo de tablas se presenta la composición mineralógica de cada material y los porcentajes comprendidos por cada uno de ellos.

Tabla 12. Composición mineralógica material Sogamoso

MINERALES ENCONTRADOS	PORCENTAJES
Cuarzo	55 %
Mica-Biotita	20 %
Fragmentos de rocas (líticos)	10 %
Plagioclasa	5 %
Feldespatos potásicos	5 %
Oxidos	5 %

Tabla 13. Composición mineralógica material Bocas

MINERALES ENCONTRADOS	PORCENTAJES
Cuarzo	55 %
Mica-Biotita	20 %
Fragmentos de rocas (líticos)	10 %
Plagioclasa	5 %
Fragmentos calcáreos	5 %
Oxidos	5 %

Tabla 14. Composición mineralógica material Chicamocha

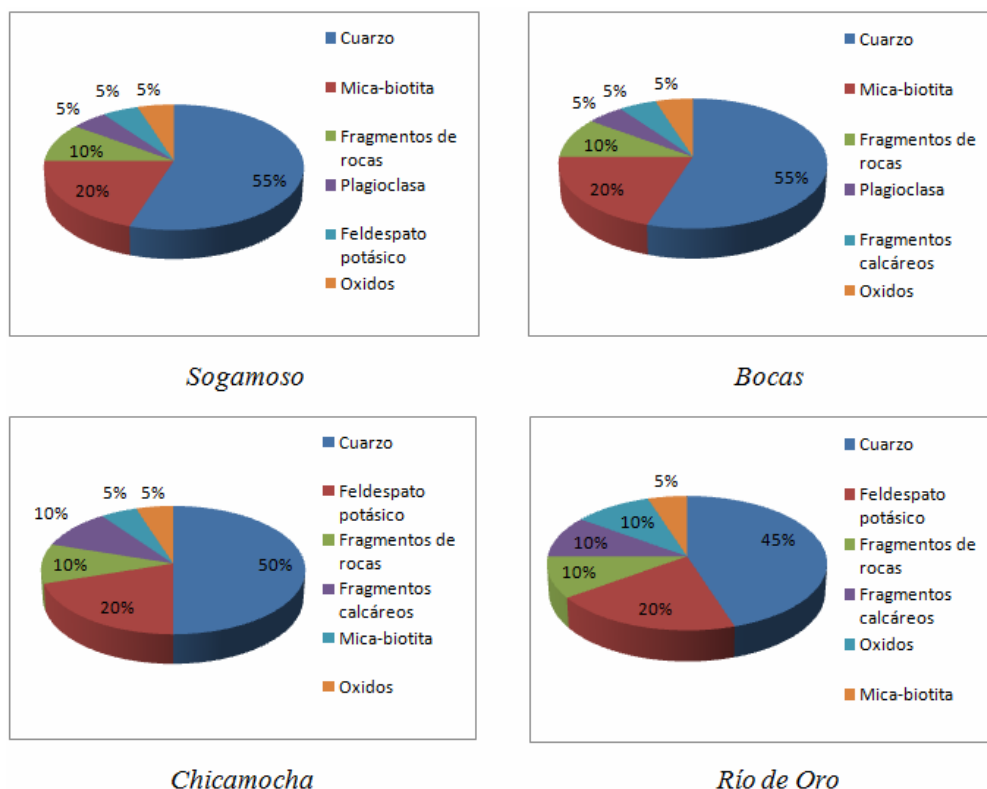
MINERALES ENCONTRADOS	PORCENTAJES
Cuarzo	50 %
Feldespatos potásico	20 %
Fragmentos de rocas (líticos)	10 %
Fragmentos calcáreos	10 %
Mica-Biotita	5 %
Oxidos	5 %

Tabla 15. Composición mineralógica material Río de Oro

MINERALES ENCONTRADOS	PORCENTAJES
Cuarzo	45 %
Feldespatos potásico	20 %
Fragmentos de rocas (líticos)	10 %
Fragmentos calcáreos	10 %
Oxidos	10 %
Mica-Biotita	5 %

Analizando la estructura mineralógica de estos agregados se encuentra que el cuarzo está presente en cada uno de ellos constituyendo la mayor parte de su composición alcanzando porcentajes de mas o menos el 50%, esto ratifica los resultados obtenidos en los ensayos de abrasión y de 10% de finos pues el cuarzo posee una dureza muy alta en comparación con los otros minerales encontrados.

Figura 14. Esquema porcentual de composición mineralógica



Además del cuarzo, se pudo identificar un porcentaje relativamente alto de otros minerales tales como el feldespato potásico presente en los materiales de Río de Oro y Chicamocha y la mica biotita contenida en los agregados de Sogamoso y Bocas. El resto de minerales encontrados constituye una fracción muy pequeña que no supera el 10% de las muestras analizadas.

Los minerales enunciados anteriormente definen las características de dureza en estos materiales a pesar que todos tienen casi la misma cantidad de cuarzo, la diferencia es marcada por la presencia del feldespato en algunos agregados (Chicamocha y Río de Oro) y el contenido de mica biotita en otros (Sogamoso y Bocas).

4. CONCLUSIONES

- Se ha logrado estudiar las propiedades de resistencia y dureza de los agregados que tienen mayor utilización en la ciudad de Bucaramanga implementando en cada uno de ellos los ensayos de 10% de finos y desgaste en la máquina de los ángeles.
- No todas las muestras ensayadas presentaron el comportamiento esperado en el ensayo de 10% de finos puesto que el agregado identificado como Bocas no tuvo una pérdida de material uniforme, es decir, que algunas partículas se fraccionaron mientras que otras quedaron intactas constituyéndose de esta manera una muestra no homogénea.
- Los agregados obtenidos del Río de Oro y Bocas no proporcionan alta confiabilidad al momento de conformar cualquier tipo de capa granular ya que su resistencia disminuye considerablemente cuando tienen contacto con el agua, por el contrario, agregados extraídos de canteras en los ríos Chicamocha y Sogamoso son de excelente calidad porque demostraron cumplir con las especificaciones que deben tener este tipo de materiales.
- El ensayo de 10% de finos como método para caracterizar agregados pétreos no resulta ser tedioso en su implementación ya que su repetitividad es baja, en cambio, suministra información importante acerca de la resistencia mecánica de un agregado.
- A pesar de que pueda existir una relación directa entre los ensayos estudiados no se debe prescindir de ninguno al momento de analizar las propiedades de un agregado porque cada uno estudia características diferentes.

5. RECOMENDACIONES

- Es recomendable hacer un lavado previo de todas las muestras a ensayar para eliminar el polvo, costras y toda clase de impurezas que pueda contener el agregado y que afecten los resultados.
- Se propone como futura investigación un método o procedimiento para determinar la uniformidad de las muestras en el ensayo de 10% de finos e identificar las muestras heterogéneas y las partículas que causan anomalías en los resultados.
- Aplicar este ensayo a nuevas fuentes de agregado con el fin de encontrar otras alternativas de suministro de este material para la construcción de pavimentos en la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

NORMAS DE ENSAYO PARA MATERIALES DE CARRETERAS. Instituto Nacional de Vías 2007.

ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS. Instituto Nacional de Vías 2007.

CAMACHO GRASS, Maryury Paola. Diseño y elaboración de documentación soporte para las clases de diseño de pavimentos en el programa de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander. Proyecto de grado. UIS 2008.

MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly Fabián, MORA ASCENCIO, Raúl Enrique. Análisis de las características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como material de bases granulares. Proyecto de grado. UIS 2008.

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2ª Edición. Santa fe de Bogotá. Universidad Católica de Colombia, 1998.

BERNUCCI BARIANI, Liedi, GORETTI DA MOTTA, Laura Maria, CERATTI PEREIRA, Jorge Augusto, SOARES BARBOSA, Jorge. Pavimentación Asfáltica: Formación Básica para ingenieros. Petrobrás. Río de Janeiro 2006.

DNER-ME 096 – 98.

BS 812 Part 110 – 1990.

ANEXO A: NORMA I.N.V.E – 224 – 07

Anexo A1: Presentación de la norma I.N.V.E – 224 – 07

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS AGREGADOS GRUESOS POR EL MÉTODO DE 10% DE FINOS

I.N.V. E – 224 – 07

1. OBJETO

Esta norma cubre el procedimiento para evaluar la resistencia mecánica de un agregado grueso a la trituración al ser sometido a esfuerzo de compresión, determinando la carga necesaria, para producir en el agregado grueso, un 10% de finos, que son constituidos por el material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8) después de ser sometido a esta prueba.

2. USO Y SIGNIFICADO

Este método busca evaluar la resistencia mecánica de un agregado, tomando como parámetro de referencia la carga de compresión necesaria que se debe aplicar al material para que se produzca un 10% de finos producto de la acción mecánica.

3. EQUIPO

- 3.1** *Conjunto de acero para montar la muestra en el dispositivo de compresión* – Un conjunto de acero, descrito en la Figura.1, el cual está constituido por:
 - 3.1.1** *Recipiente cilíndrico* – Un recipiente cilíndrico (ver Figura 1(a)), de 114.3 mm de diámetro interior y 177.8 mm de altura, el cual tendrá como objetivo proporcionar una medida en el ensayo.
 - 3.1.2** *Un cilindro de ensayo* – Un cilindro (ver Figura 1(b)), de 154.0 mm de diámetro interior y 128.6 mm de altura.
 - 3.1.3** *Plato de base* – Un plato-base circular (ver Figura 1(c)), de 19.0 mm de espesor, 272.0 mm de diámetro y una muesca o abatimiento de una profundidad 2.0 mm y 190.0 mm del diámetro, para que el cilindro de ensayo encaje perfectamente.
 - 3.1.4** *Pistón* – Un pistón para aplicar esfuerzos de compresión a la muestra (ver Figura 1(d)), de 152.4 mm de diámetro, el cual deberá tener adaptado agarraderas y una escala graduada en milímetros, de 35.0 mm de longitud, que permita medir la penetración del pistón en el cilindro del ensayo.
 - 3.1.5** *Varilla para compactación* – Una varilla cilíndrica de sección circular recta (ver Figura 1(e)), recta, con 15 ± 1 mm de diámetro y 600 ± 5 mm de longitud, con una de sus puntas semiesférica.
- 3.2** *balanza* – Una balanza con precisión de 1.0 g y con una capacidad que exceda la masa mínima de la muestra se ensayo.
- 3.3** *Tamices* – Tamices de 12.7 mm (1/2"), 9.5 mm (3/8") y 2.36 mm (No. 8), con tapa y la base respectiva.

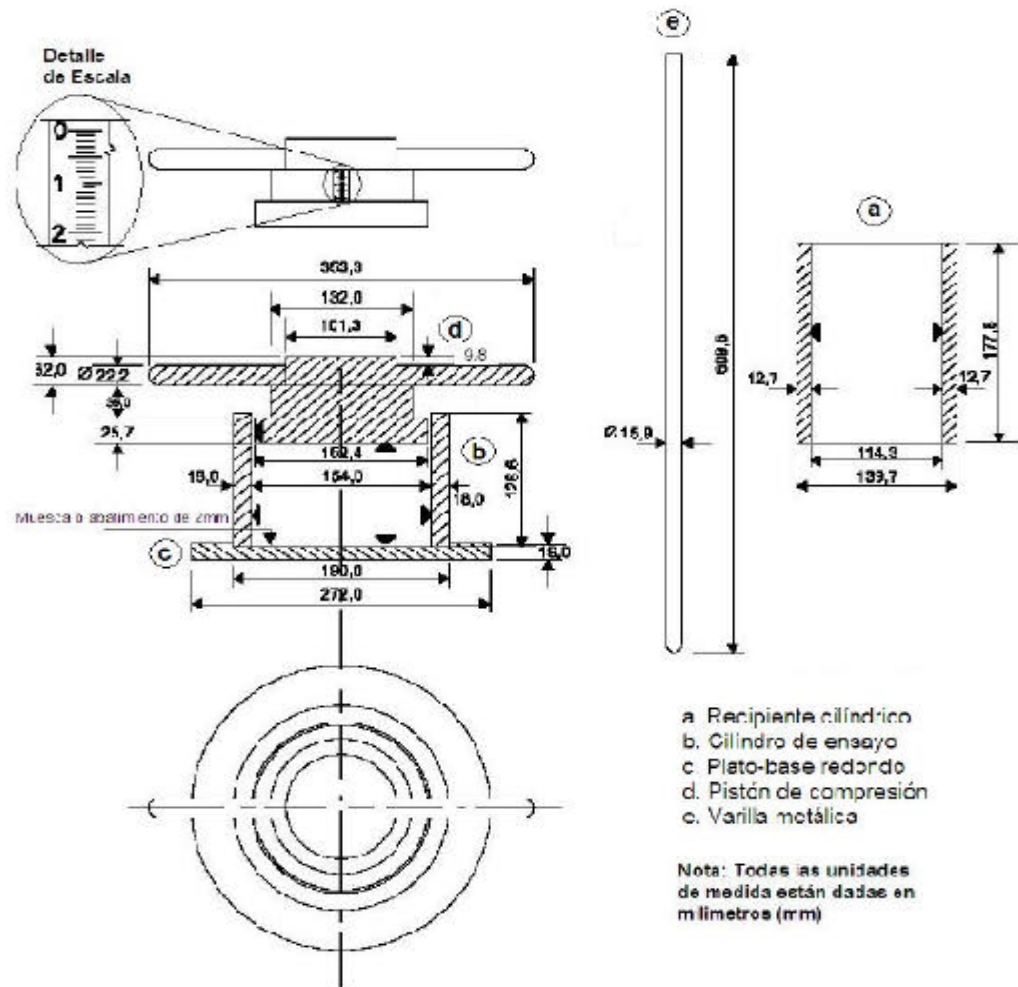


Figura 1. Conjunto de acero para el ensayo de 10% de Finos

- 3.4 *Bandeja* – Una bandeja metálica de 70 cm x 50 cm x 5 cm.
- 3.5 *Pala* – Una pala de cabo corto.
- 3.6 *Dispositivo para aplicar esfuerzos de compresión* – Un sistema de carga o una prensa, con la capacidad de aplicar cargas de por lo menos 500 KN (50 Tonelada fuerza), con una de sus bases articulada, y que garantice la transmisión de cargas de una manera progresiva y sin sobresaltos. Se aceptará que el sistema utilizado para medir la carga aplicada por la prensa o por el aparato de aplicación de carga, tenga un error máximo de 1%.

4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 4.1 La muestra de agregado recibida para realizar el ensayo, inicialmente se debe secar al aire, posteriormente, se debe tamizar por las mallas de 12.7 mm (1/2") y 9.5 mm (3/8"), se utilizará exclusivamente el material comprendido entre estos dos tamaños.

- 4.2 En el caso que la muestra recibida no contenga suficiente material de la fracción, 12.7 mm – 9.5 mm, para llenar el recipiente cilíndrico (Sección 3.1.1), el material faltante podrá ser obtenido por la trituración de las partículas de mayor tamaño de la muestra

5. PROCEDIMIENTO

- 5.1 El recipiente cilíndrico de medida, (Figura 1(a)), deberá ser llenado, con el material seleccionado de acuerdo a la Sección 4 de esta norma, en tres capas sucesivas de una misma altura, aplicándose en cada capa 25 golpes con la varilla descrita en la Sección 3.1.5 de esta norma. El exceso de material se quitará enrasando con la varilla la muestra, en el recipiente cilíndrico
- 5.2 Se determina, con una precisión de 1.0 g, la masa del agregado, que contiene el recipiente cilíndrico (m_a).
- 5.3 La muestra alojada en el recipiente cilíndrico de medida, se deberá pasar al cilindro del ensayo, (Figura 1(b)), el cual deberá estar adecuadamente ajustado en el plato-base, la muestra nuevamente se deberá colocar en tres capas sucesivas de igual altura y se aplicarán también 25 golpes por capa con la varilla de compactación.
- 5.4 Se procederá a introducir el pistón de carga para aplicar la compresión al agregado en el cilindro de ensayo, nivelando la superficie del material con este mismo
- 5.5 El conjunto, cilindro de ensayo y pistón de carga, se coloca en la prensa en su plato inferior y se centra adecuadamente.
- 5.6 Se aplicará la carga necesaria de compresión para que el pistón de carga alcance una penetración en el cilindro del ensayo. La penetración deberá ser escogida previamente de acuerdo a la naturaleza de la muestra ensayada, siguiendo los criterios de la Tabla 1.

Tabla 1. Penetración del pistón de carga de acuerdo a la naturaleza de la muestra

Naturaleza del material	Penetración
Agregados constituidos de partículas redondeadas o sub-redondeadas.	15 mm
Agregados constituidos de partículas angulares.	20 mm
Agregados ligeros, que presenten vacíos en su interior.	24 mm

- 5.7 Al alcanzar la penetración seleccionada, se anotará el valor de la carga aplicada en Newton, (x_1), y se procederá a sacar el material del cilindro de ensayo.
- 5.8 Todo el material obtenido del cilindro de ensayo se pasará por el tamiz de 2.36 mm (No 8) y se determina la masa del material retenido (m_r).

6. CÁLCULOS

- 6.1 El porcentaje de finos producidos ($f_1\%$), por la acción de la carga x_1 , se determinará con la siguiente expresión:

$$f_1\% = \frac{m_a - m_r}{m_a} \times 100$$

Nota 1 - El porcentaje de finos ($f_1\%$) producido por la carga x_1 debe estar comprendido entre 7.5% y 12.5%. En caso que esto no ocurra, el ensayo se debe repetir, aumentando o disminuyendo la penetración del pistón de acuerdo a los valores obtenidos previamente.

- 6.2 La carga necesaria para producir un 10% de finos (C_{10}) en el agregado ensayado, expresada en Newton, esta dada por la siguiente expresión:

$$C_{10} = \frac{14 x_1}{(f_1\% + 4)}$$

7. INFORME

El informe debe contener la siguiente información:

- 7.1 Referencias del material al que se le realizó el ensayo.
- 7.2 Valor de la carga x_1 , en Newton.
- 7.3 Los valores de el porcentaje de finos producidos ($f_1\%$), por la acción de la carga x_1 .
- 7.4 La carga necesaria para producir un 10% de finos (C_{10}), en Newton.

8. NORMAS DE REFERENCIA

DNER-ME 096 – 98

BS 812 Part 110 – 1990

**ANEXO B: ABRASION DE AGREGADOS EN LA
MAQUINA DE LOS ANGELES**

Anexo B1: Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles para el material de Río de Oro.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Noviembre 12 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Rio de Oro

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000

Granulometria de ensayo	Número de esferas	Masa Total (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

PRUEBAS	1	2	3	4
Gradacion usada	B			
N° de esferas	11			
Masa de las esferas (g)	4610			
N° de revoluciones	500			
Pa=muestra antes del ensayo	5000			
Pb=peso muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #12	2865			
Perdida del material (Pa-Pb)	2135			
% Desgaste ((Pa-Pb)/Pa)*100	42,7			
Especificacion	INVE-218			

OBSERVACIONES

Ninguna muestra de los diferentes tipos de material tubo lavado previo y posterior al ensayo puesto que estaban libres de impurezas como costras o polvo.

Anexo B2: Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles para el material Bocas.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Noviembre 12 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Bocas

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000

Granulometria de ensayo	Número de esferas	Masa Total (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

PRUEBAS	1	2	3	4
Gradacion usada	B			
N° de esferas	11			
Masa de las esferas (g)	4610			
N° de revoluciones	500			
Pa=muestra antes del ensayo	5000			
Pb=peso muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #12	3185			
Perdida del material (Pa-Pb)	1815			
% Desgaste ((Pa-Pb)/Pa)*100	36,3			
Especificacion	INVE-218			

OBSERVACIONES

Ninguna muestra de los diferentes tipos de material tubo lavado previo y posterior al ensayo puesto que estaban libres de impurezas como costras o polvo.

Anexo B3: Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles para el material Sogamoso.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Noviembre 12 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Sogamoso

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000

Granulometria de ensayo	Número de esferas	Masa Total (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

PRUEBAS	1	2	3	4
Gradacion usada	B			
N° de esferas	11			
Masa de las esferas (g)	4610			
N° de revoluciones	500			
Pa=muestra antes del ensayo	5000			
Pb=peso muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #12	3515			
Perdida del material (Pa-Pb)	1485			
% Desgaste $((Pa-Pb)/Pa)*100$	29,7			
Especificacion	INVE-218			

OBSERVACIONES

Ninguna muestra de los diferentes tipos de material tubo lavado previo y posterior al ensayo puesto que estaban libres de impurezas como costras o polvo.

Anexo B4: Ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles para el material Sogamoso.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Noviembre 12 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Chicamocha

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250			
1"	3/4"	1250			
3/4"	1/2"	1250	2500		
1/2"	3/8"	1250	2500		
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	N°4			2500	
N°4	N°8				5000

Granulometria de ensayo	Número de esferas	Masa Total (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

PRUEBAS	1	2	3	4
Gradacion usada	B			
N° de esferas	11			
Masa de las esferas (g)	4610			
N° de revoluciones	500			
Pa=muestra antes del ensayo	5000			
Pb=peso muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #12	3715			
Perdida del material (Pa-Pb)	1285			
% Desgaste $((Pa-Pb)/Pa)*100$	25,7			
Especificacion	INVE-218			

OBSERVACIONES

Ninguna muestra de los diferentes tipos de material tubo lavado previo y posterior al ensayo puesto que estaban libres de impurezas como costras o polvo.

**ANEXO C: RESISTENCIA MECANICA DE
AGREGADOS POR EL METODO DE 10% DE FINOS**

Anexo C1: Ensayo de 10% de finos aplicado al material Chicamocha.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



EVALUACION DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS
AGREGADOS GRUESOS POR EL METODO DE 10 % DE FINOS

FECHA: Diciembre 02 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Chicamocha

DATOS SOBRE GRADACION DE LA MUESTRA

TAMAÑO	
PASA	RETENIDO
3/4"	1/2"
1/2"	3/8"
3/8"	1/4"

PENETRACION DEL PISTON SEGÚN LA NATURALEZA DE LA MUESTRA

NATURALEZA DEL MATERIAL	PENETRACION
Agregados constituidos por particulas redondeadas o subredondeadas	15 mm
Agregados constituidos por particulas angulares	20 mm
Agregados ligeros, que pesenten vacios en su interior	24 mm

NUMERO DE REPETICIONES Y RESULTADOS

PRUEBA	1	2	3
Ma=masa de la muestra antes del ensayo	2778,3	2775,5	2788,6
Penetracion del piston en mm	20	17	14
Valor de la carga (X1) en Newton	32,5	31,5	28,5
Mr=masa de la muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #8	2395	2427,7	2478,7
Porcentaje de finos (f1%)=(Ma-Mr)/Ma*100	13,8	12,5	11,1
Carga necesaria que produce un 10% de finos (C10)=(14*X1)/(f1%+4)	25,6	26,7	26,4

OBSERVACIONES

Anexo C2: Ensayo de 10% de finos aplicado al material Sogamoso.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



EVALUACION DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS
AGREGADOS GRUESOS POR EL METODO DE 10 % DE FINOS

FECHA: Diciembre 02 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Sogamoso

DATOS SOBRE GRADACION DE LA MUESTRA

TAMAÑO	
PASA	RETENIDO
3/4"	1/2"
1/2"	3/8"
3/8"	1/4"

PENETRACION DEL PISTON SEGÚN LA NATURALEZA DE LA MUESTRA

NATURALEZA DEL MATERIAL	PENETRACION
Agregados constituidos por particulas redondeadas o subredondeadas	15 mm
Agregados constituidos por particulas angulares	20 mm
Agregados ligeros, que pesenten vacios en su interior	24 mm

NUMERO DE REPETICIONES Y RESULTADOS

PRUEBA	1	2	3
Ma=masa de la muestra antes del ensayo	2797,3	2831,7	
Penetracion del piston en mm	15	13	
Valor de la carga (X1) en Newton	20,8	17,7	
Mr=masa de la muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #8	2480,4	2573,5	
Porcentaje de finos (f1%)=(Ma-Mr)/Ma*100	11,3	9,1	
Carga necesaria que produce un 10% de finos (C10)=(14*X1)/(f1%+4)	19,0	18,9	

OBSERVACIONES

Anexo C3: Ensayo de 10% de finos aplicado al material Río de Oro.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



EVALUACION DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS
AGREGADOS GRUESOS POR EL METODO DE 10 % DE FINOS

FECHA: Diciembre 02 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Río de Oro

DATOS SOBRE GRADACION DE LA MUESTRA

TAMAÑO	
PASA	RETENIDO
3/4"	1/2"
1/2"	3/8"
3/8"	1/4"

PENETRACION DEL PISTON SEGÚN LA NATURALEZA DE LA MUESTRA

NATURALEZA DEL MATERIAL	PENETRACION
Agregados constituidos por partículas redondeadas o subredondeadas	15 mm
Agregados constituidos por partículas angulares	20 mm
Agregados ligeros, que pesenten vacios en su interior	24 mm

NUMERO DE REPETICIONES Y RESULTADOS

PRUEBA	1	2	3
Ma=masa de la muestra antes del ensayo	2635,7	2576	
Penetracion del piston en mm	15	12	
Valor de la carga (X1) en Newton	17,5	12,4	
Mr=masa de la muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #8	2292,4	2356	
Porcentaje de finos (f1%)=(Ma-Mr)/Ma*100	13,0	8,5	
Carga necesaria que produce un 10% de finos (C10)=(14*X1)/(f1%+4)	14,4	13,8	

OBSERVACIONES

--

Anexo C4: Ensayo de 10% de finos aplicado al material Bocas.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



EVALUACION DE LA RESISTENCIA MECANICA DE LOS
AGREGADOS GRUESOS POR EL METODO DE 10 % DE FINOS

FECHA: Diciembre 02 de 2008
 PROYECTO: Implementacion en el laboratorio de pavimentos del ensayo de 10% de finos
 LOCALIZACION: Edificio Alvaro Beltran Pinzon - UIS
 MATERIAL: Bocas

DATOS SOBRE GRADACION DE LA MUESTRA

TAMAÑO	
PASA	RETENIDO
3/4"	1/2"
1/2"	3/8"
3/8"	1/4"

PENETRACION DEL PISTON SEGÚN LA NATURALEZA DE LA MUESTRA

NATURALEZA DEL MATERIAL	PENETRACION
Agregados constituidos por particulas redondeadas o subredondeadas	15 mm
Agregados constituidos por particulas angulares	20 mm
Agregados ligeros, que pesenten vacios en su interior	24 mm

NUMERO DE REPETICIONES Y RESULTADOS

PRUEBA	1	2	3
Ma=masa de la muestra antes del ensayo	2634,2	2623,4	2611,8
Penetracion del piston en mm	17	13	15
Valor de la carga (X1) en Newton	16,3	9,9	12,3
Mr=masa de la muestra despues del ensayo y pasada por tamiz #8	2312,9	2453,9	2359,7
Porcentaje de finos (f1%)=(Ma-Mr)/Ma*100	12,2	6,5	9,7
Carga necesaria que produce un 10% de finos (C10)=(14*X1)/(f1%+4)	14,1	13,2	12,6

OBSERVACIONES


**ANEXO D: TABLAS 400.1 (b) y 400.1 (c)
ESPECIFICACIONES GENERALES DE
CONSTRUCCION DE CARRETERAS**


Anexo D1: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT2. Material Chicamocha.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/ Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE	25% máx	25% máx		
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	25% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia)		
MEZCLA DENSA EN FRIO - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	30% máx		
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	30% máx (en frío) 25% máx (en caliente)		

Anexo D2: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT3. Material Chicamocha.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/ Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	20% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRÍO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia)
MEZCLA DENSA EN FRÍO				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	25% máx	90 mín	75% mín
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	25% máx (en frío) 20% máx (en caliente)	75 mín (en frío) 110 mín (en caliente)	75% mín (en frío) 75% mín (en caliente)
MEZCLA DE ALTO MÓDULO	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín

 Especificaciones que cumplen los agregados.


 Especificaciones que no cumplen los agregados.


Anexo D3: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT2. Material Sogamoso.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE	25% máx	25% máx		
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	25% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia)		
MEZCLA DENSA EN FRIO - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	30% máx		
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	30% máx (en frío) 25% máx (en caliente)		

Anexo D4: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT3. Material Sogamoso.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/ Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	20% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRÍO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia)
MEZCLA DENSA EN FRÍO				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	25% máx	90 mín	75% mín
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	25% máx (en frío) 20% máx (en caliente)	75 mín (en frío) 110 mín (en caliente)	75% mín (en frío) 75% mín (en caliente)
MEZCLA DE ALTO MODULO	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín

 Especificaciones que cumplen los agregados.


 Especificaciones que no cumplen los agregados.


Anexo D5: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT2. Material Bocas.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE	25% máx	25% máx		
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	25% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia)		
MEZCLA DENSA EN FRIO - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	30% máx		
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	30% máx (en frío) 25% máx (en caliente)		

Anexo D6: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT3. Material Bocas.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	20% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia)
MEZCLA DENSA EN FRIO				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	25% máx	90 mín	75% mín
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	25% máx (en frío) 20% máx (en caliente)	75 mín (en frío) 110 mín (en caliente)	75% mín (en frío) 75% mín (en caliente)
MEZCLA DE ALTO MODULO	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín

 Especificaciones que cumplen los agregados.


 Especificaciones que no cumplen los agregados.


Anexo D7: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT2. Material Río de Oro.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE	25% máx	25% máx		
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	25% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia)		
MEZCLA DENSA EN FRIO - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	30% máx		
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE - Agregado grueso - Agregado fino - Gradación combinada	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	25% máx (rodadura) 30% máx (intermedia) 30% máx (base)		
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	30% máx (en frío) 25% máx (en caliente)		

Anexo D8: Requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas, nivel de tránsito NT3. Material Río de Oro.

TIPO DE TRATAMIENTO O MEZCLA	DESGASTE LOS ÁNGELES	DESGASTE MICRO-DEVAL	10% DE FINOS	
			Seco	Relación Húmedo/ Seco
NORMA INV	E-218 E-219	E-238	E-224	E-224
LECHADA ASFÁLTICA	25% máx	20% máx		
MEZCLA ABIERTA EN FRIO	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia)
MEZCLA DENSA EN FRIO				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA ABIERTA EN CALIENTE	35% máx	25% máx	90 mín	75% mín
MEZCLA DENSA, SEMIDENSA Y GRUESA EN CALIENTE				
- Agregado grueso	25% máx (rodadura) 35% máx (intermedia) 35% máx (base)	20% máx (rodadura) 25% máx (intermedia) 25% máx (base)	110 mín (rodadura) 90 mín (intermedia) 75 mín (base)	75% mín (rodadura) 75% mín (intermedia) 75% mín (base)
- Agregado fino				
- Gradación combinada				
MEZCLA CONTINUA EN CALIENTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
MEZCLA DRENANTE	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín
RECICLADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE (Material de adición)	40% máx (en frío) 25% máx (en caliente)	25% máx (en frío) 20% máx (en caliente)	75 mín (en frío) 110 mín (en caliente)	75% mín (en frío) 75% mín (en caliente)
MEZCLA DE ALTO MODULO	25% máx	20% máx	110 mín	75% mín

 Especificaciones que cumplen los agregados.

 Especificaciones que no cumplen los agregados.