

**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ASFALTO FRESADO DE CAPAS
EXISTENTES PARA SU USO COMO MATERIAL DE BASES GRANULARES**

YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN

RAUL ENRIQUE MORA ASCENCIO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ASFALTO FRESADO DE CAPAS
EXISTENTES PARA SU USO COMO MATERIAL DE BASES GRANULARES**

YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN

RAUL ENRIQUE MORA ASCENCIO

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2008**

A Dios artífice fundamental de esta vida.

A mis padres por su infinito cariño, comprensión, sacrificio y entrega.

A mis hermanos Iván y Jackeline por su apoyo silencioso.

A Andreita, Tata y Verónica por ser luz, alegría y sinceridad en todo momento.

A Manuel, siempre un amigo incondicional.

A Raúl, Julio, José Miguel, Sneider y Wara, amigos y grandes compañeros que con sus palabras y acciones contribuyeron a labrar este camino.

“Cada paso que se da es una batalla que el coraje le ha ganado a nuestras dudas.”

YERLY FABIAN

A Dios,

Mis Padres,

Mi Hermana,

Mis Familiares,

Mis Amigos y Compañeros.

Raúl Enrique

AGRADECIMIENTOS

Los autores presentan sus agradecimientos a las siguientes personas:

Ing. EDUARDO CASTAÑEDA PINZON, director de proyecto, por su guía y apoyo durante la ejecución de la investigación.

A los laboratoristas JAIRO HERNANDEZ y GERMAN HERNANDEZ por la colaboración prestada durante el trabajo de laboratorio.

A las empresas contratistas las cuales colocaron a nuestra disposición el material necesario para hacer los respectivos ensayos y a la planta de asfalto ASFALTAR por prestarnos sus instalaciones y equipos cuando fue necesario.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
OBJETIVOS	19
1. GENERALIDADES	20
1.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	20
1.2. BASES DE PAVIMENTOS	20
1.2.1. Requisitos de Especificaciones de bases granulares.....	22
1.3. FRESADO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO	24
1.3.1. Descripción de la técnica.....	25
1.3.2. Ventajas de la técnica de Reciclado en frío.....	26
2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	28
3. CAMPAÑA EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	29
3.1. SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	29
3.1.1. Material producto de fresado.....	29
3.1.2. Agregado pétreo.....	30
3.2. CARACTERIZACION DE BASE GRANULAR CON MATERIAL FRESADO ...	30
3.2.1 Porcentaje de material formado por aglomerado de partículas	31
3.2.2 Ensayo de análisis granulométrico por tamizado del material	32
3.2.3 Ensayo de abrasión de agregados en la maquina de los Ángeles.	37
3.2.4 Ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento	39
3.2.5 Ensayo de Compactación.....	39
3.2.6 Ensayo de Capacidad mecánica de la capa de base	41
3.2.7 Angularidad de las partículas	43
3.2.8 Evolución de la porosidad	44
3.3. CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DE BASES GRANULARES	53
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55

BIBLIOGRAFIA.....57
ANEXOS.....58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Franja granulométrica para bases granulares.....	23
Tabla 2. Partículas formadas por aglomeración de agregados con asfalto.	31
Tabla 3. Resultados del ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.	39
Tabla 4. Características del molde utilizado en ensayo de relación de soporte del suelo en laboratorio.	42
Tabla 5. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Cañaveral.	48
Tabla 6. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Carrera 27.....	48
Tabla 7. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Vía Piedecuesta.	49
Tabla 8. Resultados de los demás ensayos realizados a este material.....	51
Tabla 9. Densidades obtenidas después de compactar.	52
Tabla 10. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material tradicional de base granular.....	52
Tabla 11. Comparación de resultados después de ensayo de Evolución de porosidad.	53
Tabla 12. Normatividad usada para verificación de resultados de ensayos.	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de fresado - Detalle de rotor de fresado de la maquina recicladora.	24
Figura 2. Detalle del proceso de reciclado.....	26
Figura 3. Agregado extendido sobre bandeja durante el secado.....	31
Figura 4. Tamices utilizados en la ejecución de Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado.	32
Figura 5. Comparación de materiales formados por aglomeración de asfalto y material granular o esqueleto mineral.....	33
Figura 6. Extractor centrifugo de asfalto.	33
Figura 7. Curvas Granulométricas del material de tramo III de Metrolínea, Cañaveral ajustadas a los limites de la BG 1 propuesta por INVIAS.....	34
Figura 8. Curvas Granulométricas del material de tramo III de Metrolínea, Cañaveral ajustadas a los limites de la BG 2 propuesta por INVIAS.....	35
Figura 9. Curvas Granulométricas del material de rehabilitación carrera 27 entre calles 40 - 41 ajustadas a los limites de la BG 1 propuesta por INVIAS.	35
Figura 10. Curvas Granulométricas del material de rehabilitación carrera 27 entre calles 40 - 41 ajustadas a los limites de la BG 2 propuesta por INVIAS.	36
Figura 11. Curvas Granulométricas del material de vía Bucaramanga - Piedecuesta ajustadas a los limites de la BG 1 propuesta por INVIAS.....	36
Figura 12. Curvas Granulométricas del material de vía Bucaramanga - Piedecuesta ajustadas a los limites de la BG 2 propuesta por INVIAS.....	37
Figura 13. Equipo utilizado en ensayo de abrasión de agregados.....	38
Figura 14. Resultados del ensayo de abrasión de agregados en la maquina de los Ángeles.....	38
Figura 15. Calibradores utilizados en la ejecución del ensayo.	39
Figura 16. Equipo utilizado para ensayo de relación de peso unitario – humedad en los suelos, proctor modificado.....	40
Figura 17. Resultados del ensayo Relación peso unitario – humedad en los suelos, proctor modificado.	41
Figura 18. Ensayo de relación de soporte del suelo en laboratorio.	42

Figura 19. Relación de soporte, CBR de cada material.	43
Figura 20. Porcentaje de partículas angulosas retenidas en cada tamiz.	44
Figura 21. Probetas para simular carga dinámica.....	45
Figura 22. Discos colocados en parte superior de probeta.....	45
Figura 23. Aplicación de energía de compactación.	46
Figura 24. Medición de deformación de probeta.....	47
Figura 25. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Cañaveral.....	47
Figura 26. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Cañaveral.....	48
Figura 27. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Piedecuesta.	49
Figura 28. Material tradicional de bases granulares utilizado para comparaciones.	50
Figura 29. Curva granulométrica del material para base granular tradicional ajustado a las bandas granulométricas dadas por Instituto Nacional de Vías.	51
Figura 30. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material tradicional.	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original.

ANEXO A1. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO A2. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO A3. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO A4. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO A5. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Vía Piedecuesta.

ANEXO A6. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Vía Piedecuesta.

ANEXO A7. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material tradicional para bases granulares.

ANEXO B. Ensayo de abrasión de agregados en la maquina de los Ángeles.

ANEXO B1. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO B2. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO B3. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO B4. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO B5. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO B6. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO B7. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material tradicional de base granular.

ANEXO C. Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.

ANEXO C1. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material tramo III de Metrolínea sin lavar en solvente.

ANEXO C2. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material carrera 27 entre calles 40 - 41 sin lavar en solvente.

ANEXO C3. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material autopista Vía Bucaramanga - Piedecuesta sin lavar en solvente.

ANEXO D. Ensayo de relación de peso unitario - humedad en los suelos proctor modificado.

ANEXO D1. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO D2. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO D3. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO D4. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO D5. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO D6. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO D7. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material tradicional de base granular.

ANEXO E. Ensayo de análisis granulométrico por tamizado sometido a compactación sencilla.

ANEXO E1. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL, sometido a compactación sencilla.

ANEXO E2. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL, sometido a compactación sencilla.

ANEXO E3. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41, sometido a compactación sencilla.

ANEXO E4. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41, sometido a compactación sencilla.

ANEXO E5. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Vía Piedecuesta, sometido a compactación sencilla.

ANEXO E6. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta, sometido a compactación sencilla.

ANEXO F. Ensayo de relación de soporte en el laboratorio.

ANEXO F1. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO F2. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

ANEXO F3. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO F4. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

ANEXO F5. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO F6. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta.

ANEXO F7. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material tradicional de base granular.

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ASFALTO FRESADO DE CAPAS EXISTENTES PARA SU USO COMO MATERIAL DE BASES GRANULARES*

AUTORES: MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly Fabián, MORA ASCENCIO, Raúl Enrique**

PALABRAS CLAVES: Pavimento Fresado, Reciclado de Asfalto, Bases Granulares, Caracterización de Materiales Granulares.

DESCRIPCION

Actualmente, las técnicas de reciclado de asfalto están bastante adelantadas en muchos países, la maquinaria y equipos necesarios para el desarrollo de esta técnica son cada día más eficientes y especializados, este procedimiento utilizado en la construcción y rehabilitación de carreteras es un buen camino para disminuir el consumo de materiales nuevos y al mismo tiempo reducir la explotación de canteras, buscando con ello una economía en los procesos mediante un aprovechamiento mas optimo de los materiales y una conservación mas eficiente del medio ambiente, es por ello que se hace necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas tales como granulometría, desgaste, angularidad, capacidad de soporte y densidad, que presentan los materiales provenientes de un proceso de fresado.

Este documento recopila la información y resultados producto de una serie de ensayos y pruebas de laboratorio realizados a diferentes materiales obtenidos por procesos de fresado de capas asfálticas existentes, analizando su posibilidad de uso como material para la conformación de bases granulares, con base en la normatividad y caracterización existente.

Se tiene en cuenta en estos análisis el comportamiento del material en su estado natural es decir tal cual como se obtiene del proceso de fresado y también al ser sometido a un proceso de extracción del asfalto con el fin de establecer el rango de variación de las propiedades y ofrecer una guía para realizar los ensayos de laboratorio que permitan una caracterización adecuada.

* Trabajo de Investigación

** Facultad de Ciencias Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Eduardo Castañeda Pinzón

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT MILLING EXISTING LAYER FOR USE AS MATERIAL GRANULAR BASES *

AUTHORS: MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly Fabián, MORA ASCENCIO, Raúl Enrique**

KEY WORDS: PAVEMENT MILLING, RECYCLING ASPHALT, GRANULAR BASES, CHARACTERIZATION OF GRANULAR MATERIALS.

DESCRIPTION

Currently, the asphalt recycling techniques are quite advanced in many countries, machinery and equipment necessary for the development of this technique are becoming more specialized and efficient, this procedure used in the construction and rehabilitation of roads is a good way to decrease consumption of new materials, while reducing the exploitation of quarries, thereby seeking an economy in the processes through a more optimal use of materials and a more efficient conservation of the environment, which is why it is necessary to know the properties physical and mechanical such as particle size, wear angularity, carrying capacity, density, presenting material from a process of milling.

This document contains the information and results of product testing and a series of laboratory tests conducted at different materials obtained by the processes of milling existing asphalt layers, analysing its possible use as material for the formation of granular bases, based on standards and existing characterization.

It takes into account in these analyses the behaviour of the material in its natural state that is as it is obtained as the process of milling and also to be subjected to a process of extraction of asphalt in order to establish the range of variation of the properties and provide a guide for conducting laboratory tests to allow for a proper characterization.

* Work of investigation

** Faculty of Physical-mechanical Sciences, School of Civil Engineering, Director: Eduardo Castañeda Pinzón

INTRODUCCION

En el mundo actual donde la protección del medio ambiente se ha vuelto un factor determinante en todos los sectores productivos, lo cual ha llevado a la aparición e implementación de procesos y técnicas que permitan un mejor aprovechamiento y conservación de los recursos, la industria de la construcción no ha sido ajena a esta tendencia, un claro ejemplo lo vemos en la utilización mas frecuente de la técnica conocida como fresado (Reciclado) de pavimentos con el fin de alargar el ciclo de vida de los materiales que hacen parte de la conformación de carreteras.

El fresado (reciclado) de pavimentos es una técnica que se ha utilizado a lo largo de los últimos 15 años y se puede decir que, en general, el 100% de los materiales recuperados de pavimentos asfálticos deteriorados son susceptibles de ser reciclados, ya sea en la misma obra en la que son generados, en otro pavimento (práctica más habitual) o con propósitos diferentes a la fabricación de carreteras.

Durante este proceso se obtiene un material con una serie de características físicas que hacen ver su posible capacidad para ser usado en la conformación de bases granulares. El Instituto Nacional de Vías INVIAS en el caso de Colombia, exige una serie de criterios y establece unos rangos que limitan las propiedades que debe presentar un material para su utilización en dichas capas, como lo son la granulometría, el desgaste, su capacidad de soporte medida por el ensayo de CBR, la densidad y energía de compactación, lo cual hace necesario el análisis de dichas propiedades en estos materiales, buscando con esto establecer un criterio de selección.

Esta investigación con el fin de atender a la necesidad mencionada en el párrafo anterior reúne información acerca de los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio realizadas a tres tipos diferentes de materiales sometidos a procesos de fresado, de manera que proporcione a quienes estén interesados, una guía base que muestre un procedimiento adecuado para analizar las características de materiales productos del fresado de capas asfálticas para su uso como material de bases granulares mediante la realización de los ensayos de laboratorio adecuados y su comparación con las normas dadas por el INVIAS.

OBJETIVOS

General

Analizar las características del material de asfalto fresado, para su uso como material en construcción de bases granulares.

Específicos

- Conocer la granulometría que presenta el material producto del fresado para compararla con la gradación que necesitan los agregados pétreos que se usan como material de las bases granulares.
- Ensayar el material producto del proceso de fresado tal y como se obtiene después de dicho proceso para conocer la variación y el comportamiento de este.
- Analizar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y determinar en base a ellos las ventajas o desventajas que puede presentar el material utilizado.
- Hacer comparaciones entre las características de una base granular construida con agregados pétreos tradicionales, con una hecha con material fresado de asfalto.
- Identificar de acuerdo al análisis obtenido, las especificaciones necesarias para obtener un material producto del fresado de capas existentes que sea adecuado para su uso como material de bases granulares.

1. GENERALIDADES

Durante el proceso de fresado de capas asfálticas se obtiene material con una serie de características que hacen pensar en la posibilidad de ser usado en la conformación de bases granulares, atendiendo a la idea de que dicha capa es parte fundamental en la conformación de la estructura de pavimento, es por ello que los materiales que la conformen deben presentar una serie de propiedades tanto físicas como mecánicas adecuadas y específicas que permitan su buen comportamiento.

1.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Un pavimento es una estructura cuya finalidad es soportar las cargas de tránsito dentro de unos límites de funcionalidad para un periodo de años denominado periodo de proyecto.

Estructuralmente es muy parecido a una losa apoyada sobre el terreno, esta compuesta por una serie de capas horizontales, más o menos unidas entre sí, que se diseñan y construyen de manera técnica con materiales apropiados.

1.2. 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 rodadura¹. Esta capa tiene por 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 mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante².

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

¹ MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2ª. Edición. Santa Fé de Bogotá. Universidad Católica de Colombia, 1998.

² VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, calles y aeropistas; Principios generales de mecánica de suelos aplicados a la pavimentación. Buenos Aires. El Ateneo, 1976.

- 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:

- La *resistencia*, es una de las características mas importantes que clasifica un material como ideal para su uso como base granular, ya que es la encargada de resistir los esfuerzos inducidos por los vehículos y dar un soporte homogéneo a la superficie de rodamiento, transmitiendo a las capas inferiores que las soportan una mínima porción de la carga³.
Teniendo en cuenta que para esto el material debe presentar una adecuada distribución de tamaños de partículas permitiendo una mayor acomodación de ellas y una mayor fricción interna entre las partículas, garantizando así una apropiada resistencia estructural. Sin ignorar que las características de los materiales dependen de los procesos de trituración de las partículas que definen el tamaño y la forma de estas.

Entre otras propiedades que hacen de un suelo mas resistente es una buena compactación ya que un suelo en estado *suelto* tiene mayor volumen de vacios y es menos resistente, de ahí que se recomiende compactar el suelo de manera que el volumen de vacios sea menor, obteniendo con dicha compactación lo siguiente⁴:

- Se establece un contacto mas firme entre las partículas.
- Las partículas de menor tamaño son forzadas a ocupar los vacios formados por las de mayor dimensión.

³ ARTICULO 330. Base Granular norma INVIAS. Pág. 1.

⁴ VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, calles y aeropistas; Principios generales de mecánica de suelos aplicados a la pavimentación. Buenos Aires. El Ateneo, 1976.

- Cuando un suelo esta compacto, aumenta su valor de soporte y se hace más estable.
 - Como quiera que las partículas se hallan firmemente adheridas después de la compactación, la masa de suelo será más densa y su volumen de vacíos quedara reducido a un mínimo. Por lo tanto, la capacidad absorbente (de agua) de un suelo, quedara grandemente reducida por efecto de la compactación.
- La *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 en general se comporte de manera diferente y posiblemente desfavorable ya que no ofrecerá la misma capacidad de soporte iniciales esperadas, 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 muy relacionada con el desgaste entendiéndose 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 granulométrica.

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 cambios causados por la acumulación de esfuerzos, provocando muchas veces fracturamiento alterando las características físicas y mecánicas del material.

La deformación que experimenta un material granular queda definida por el esfuerzo máximo aplicado. Cualquier número de repeticiones adicionales de un esfuerzo menor posteriormente aplicado o cualquier secuencia de esfuerzos crecientes que llegue al máximo previamente ejercido ya no inducen deformaciones posteriores.

1.2.1. Requisitos de Especificaciones de bases granulares. En Colombia las especificaciones para el diseño de pavimentos y los requisitos de los materiales

utilizados están estandarizados por el Instituto Nacional de Vías, INVIAS, el cual tiene en cuenta los siguientes requisitos para el material de las bases granulares⁵:

- El material debe ajustarse dentro de una franja granulométrica de manera que se obtenga una alta densidad del material.

Tabla 1. Franja granulométrica para bases granulares.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
<i>Normal</i>	<i>Alternó</i>	<i>BG-1</i>	<i>BG-2</i>
37.5 mm	1 1/2"	100	-
25.0 mm	1	70-100	100
19.0 mm	3/4"	60-90	70-100
9.5 mm	3/8"	45-75	50-80
4.75 mm	No.4	30-60	35-65
2.0 mm	No.10	20-45	20-45
425 mm	No.40	10-30	10-30
75 mm	No.200	5-15	5-15

Fuente: Artículo 330. Base Granular norma INVIAS.

- El agregado grueso retenido en el tamiz No. 10, consistirá de partículas o fragmentos duros y resistentes de piedra, grava o escoria. No deben emplearse materiales que se fragmenten cuando son sometidos a ciclos alternos y deshieles o de humedad y secado.
- El agregado grueso deberá tener un desgaste, según la prueba de los Ángeles, del 40% como máximo.
- El agregado fino, que pase el tamiz No. 10, deberá componerse de arena natural, u obtenida por trituración.
- La fracción que pase el tamiz No. 200 no deberá ser mayor de los dos tercios de la fracción que pasa el tamiz No. 40.
- El suelo deberá estar libre de material vegetal y grumos de arcilla.

⁵ VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, calles y aeropistas; Principios generales de mecánica de suelos aplicados a la pavimentación. Apéndice 11. Buenos Aires. El Ateneo, 1976.

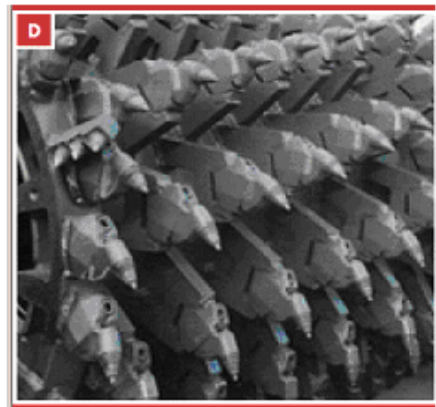
- Cuando se compacten las mezclas de agregado deberán tener una humedad igual, o ligeramente menor, a la humedad óptima necesaria para garantizar la densidad de diseño.
- El CBR del material no debe ser de menos de 80%.

1.3. FRESADO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

Debido al aumento de exigencias de los usuarios de carreteras, cada día es más necesaria la buena calidad de la rodadura, y ello no sólo desde el punto de vista del rozamiento, sino también del confort.

Si la presencia de un coeficiente de rozamiento elevado y una alta capacidad de eliminación del agua superficial son importantes, también lo es la regularidad superficial, medida a través del IRI. Por este motivo se han desarrollado una serie de procedimientos para mantener o restablecer la regularidad superficial, de aplicación sencilla, contando con los medios adecuados y con mínima interrupción del tráfico, es por esto que la técnica de fresado se ha empezado a imponer al ofrecer todas estas posibilidades.

Figura 1. Proceso de fresado - Detalle de rotor de fresado de la maquina recicladora.



Fuente: los autores - el mundo de las fresadoras en frío de Wirtgen. Artículo de Internet.

El fresado en frío o también llamado perfilado en frío es la solución económica en la construcción de carreteras, se realiza sobre materiales envejecidos y

deteriorados que han perdido sus propiedades iniciales, aunque también se puede aplicar para mejorar las características de los ya instalados.

Veinte años atrás, las carreteras se diseñaban para un tránsito menor y para vehículos más livianos que los hallados hoy en día, en consecuencia muchas carreteras sufren deformaciones y fallas prematuras. Por esta razón, es importante que los sistemas de carreteras satisfagan las crecientes exigencias. La moderna tecnología de fresado cumple todas las expectativas relacionadas con el saneamiento económico y ecológico de carreteras.

Las fresadoras en frío eliminan las capas dañadas para reemplazarla por una capa que presente condiciones adecuadas de funcionamiento⁶. El fresado puede restablecer el peralte y la pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos.

1.3.1. Descripción de la técnica⁷. Las máquinas fresadoras de pavimentos asfálticos pequeñas se introdujeron por primera vez alrededor de 1970. Su desarrollo se había extendido con rapidez para mediados de la década de los años 70. Las máquinas originales tenían anchos de corte muy estrechos. Sin embargo, para 1976 las máquinas podían cortar un carril completo de 4 metros de ancho. Las primeras máquinas necesitaban mucho mantenimiento y eran poco fiables, pero desde la década de 1970, las fresadoras han crecido en tamaño y potencia. Ahora son muy simples, confiables y de alta capacidad.

El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo.

Esta técnica consiste en la disgregación de las capas asfálticas y parte de la base granular de un pavimento existente, de acuerdo con las profundidades de corte señaladas. Es importante tener en cuenta que durante la manipulación del material fresado, deberá evitarse su contaminación con suelos u otros materiales extraños⁸.

Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento deberá encontrarse limpia y, por lo tanto, el Constructor deberá adelantar las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición. El fresado se efectuará sobre el área preparada, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la

⁶ www.wirtgen.com. EL MUNDO DE LAS FRESADORAS EN FRIO WIRTGEN. Eliminar y granular eficientemente firmes de carreteras.

⁷ ARTICULO 460. Fresado de pavimento asfáltico. Pág. 2.

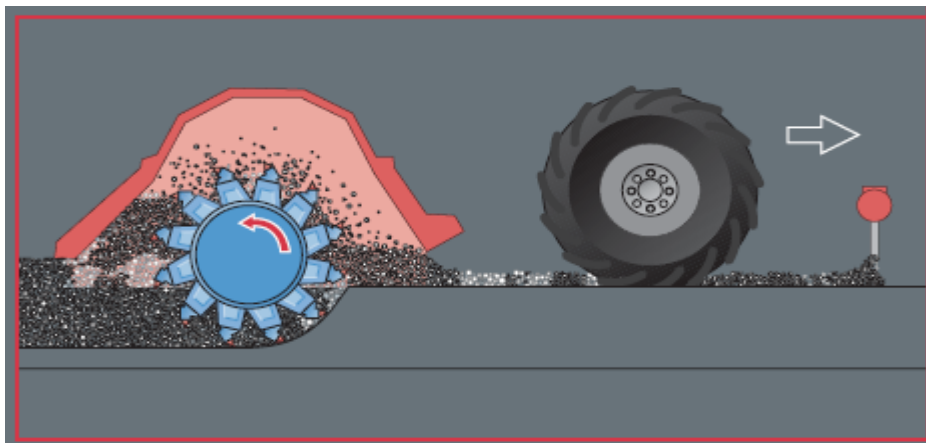
⁸ ARTICULO 460. Fresado de pavimento asfáltico. Pág. 1.

granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto existente y se deberá efectuar cuidando de no desgarrar ni romper el pavimento subyacente o adyacente.

El material extraído deberá ser transportado y acopiado en los lugares establecidos para su almacenamiento y será de propiedad del Instituto Nacional de Vías; evitando la contaminación con suelos u otros materiales extraños.

El trabajo de fresado se podrá realizar en varias capas, hasta alcanzar el espesor del proyecto, de manera que quede una superficie nivelada y sin fracturas.

Figura 2. Detalle del proceso de reciclado



Fuente: Firmes ecológicos SOLTEC. Artículo de Internet.

Los trabajos de fresado deberán ser suspendidos en instantes de lluvia. Así mismo se deberá adoptar las medidas adecuadas para garantizar el drenaje superficial en aquellas áreas fresadas donde se puedan producir empozamientos.

La acción de fresado no deberá implicar el impacto de martillos, usos de solventes, altas temperaturas ó ablandadores que pueden afectar la granulometría de los agregados pétreos y las propiedades del asfalto existente.

1.3.2. Ventajas de la técnica de Reciclado en frío. Esta técnica utilizada en la restauración y mejora de carreteras debido al desgaste provocado por la acción del tiempo y por el aumento del peso de los vehículos en los últimos años, presenta las siguientes ventajas:

- Es una técnica que presenta costos de inversión reducidos.

- Este procedimiento, en el área ambiental es importante debido a que hace uso total del material en el pavimento existente.
- La cantidad de material que debe ser traído de canteras es mínimo, reduciendo escarpas causadas por la excavación del material.
- Al tratarse de una técnica en frío, ausencia de emisiones contaminantes y mínimas molestias al tráfico durante la puesta en obra.
- Permite una reestructuración de capas degradadas que no se mejorarían con un refuerzo.
- Tiempo de ejecución es reducido si es comparado con otro método de restauración, generando un beneficio evidente para el usuario, ya que el tránsito se interrumpe por un periodo de tiempo menor.
- Ahorro en instalaciones.
- Disminución del transporte de áridos tanto por la obra como por las carreteras colindantes

Estas ventajas son las que han colocado a esta técnica en un proceso atractivo para la restauración de carreteras optimizando costos y tiempo de procesamiento.

2. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

En síntesis, esta investigación se realiza con el fin de establecer si el material producto de fresado de capas de asfalto es apto para utilizarlo como bases granulares, planteando un conjunto de ensayos para verificar las especificaciones establecidas por INVIAS, cumpliendo a lo largo de la ejecución con los siguientes pasos:

- En primer lugar se documenta en todo lo referente al tema, para esto se tienen en cuenta textos donde se habla sobre el tema, documentos y artículos publicados en internet, normas y sin olvidar, proyectos de grado anteriores que contienen información relacionada con el tema.
- Se adquiere la materia prima necesaria para la ejecución de los ensayos, la cual es el material producto del fresado de capas granulares y agregado pétreo mineral.
- Posterior a esto se identifican los ensayos de laboratorio necesarios para estudiar las características del material producto de fresado de las capas de asfalto existentes para su uso como bases granulares de una estructura de pavimento.
- Una vez se identifican los ensayos a realizar a los materiales, se sigue con su ejecución, teniendo en cuenta que para desarrollar este paso es necesario hacer una previa preparación del material como lo indica cada una de las normas del Instituto Colombiano de Vías (INVIAS).
- Análisis de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos y comparación de los resultados obtenidos con cada uno de las muestras ensayadas.
- Finalmente, se concluye de acuerdo a los resultados obtenidos.

3. CAMPAÑA EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

El objetivo general de la investigación es caracterizar el material de acuerdo con las especificaciones de bases granulares de:

- Material fresado tal como va a ser empleado en la construcción de bases de pavimento.
- Material granular o esqueleto mineral de la base a construir, porque la intención de esta técnica constructiva es reutilizar un material granular. Este material se obtiene al sumergir el material producto de fresado en solvente con el fin de obtener el material mineral limpio.

3.1. SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Para el estudio del material se utilizaron mezclas asfálticas fresadas de diferentes lugares, se tuvo a disposición solvente de manera que el material fuera lavado para observar sus características y el agregado pétreo para hacer comparaciones necesarias de este material con el fresado.

3.1.1. Material producto de fresado. El material producto de fresado es analizado de tres obras diferentes las cuales fueron:

- En el Municipio de Floridablanca la compañía encargada de la construcción del tramo III del Sistema de Transporte Masivo *Metrolínea*, XIE Ltda., suministro una cantidad considerable de dicho material, el cual sirvió para la ejecución de los ensayos necesarios para estudiar y analizar las características del material.
- En el área metropolitana de Bucaramanga se buscó otro material, el cual fue el de la rehabilitación de la carrera 27 específicamente entre calles 40 y 41, que fue suministrado por ESGAMO Ltda. INGENIEROS CONSTRUCTORES.
- Y el otro material de fresado utilizado fue el recolectado en la autopista vía Bucaramanga – Piedecuesta.

3.1.2. Agregado pétreo. Estos agregados se utilizan para comparar las características que presentan con relación a las del material producto de fresado de asfalto de capas existentes.

Pueden ser utilizados agregados típicos de una zona determinada, o puede ser obtenido de canteras, asumiendo que el material garantice presentar las siguientes características:

- Resistencia.
- Forma de partículas.
- Durabilidad.

3.2. CARACTERIZACION DE BASE GRANULAR CON MATERIAL FRESADO

Para llevar a cabo el proceso de caracterización de los materiales se realizan los siguientes ensayos a cada material:

- Ensayo de análisis granulométrico por tamizado del material.
- Ensayo de Abrasión de Agregado en la maquina de los Ángeles.
- Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.
- Ensayo de Compactación.
- Ensayo de capacidad mecánica de la capa de base.
- Otros.

Antes de comenzar con cada uno de los ensayos a realizar se prepara el material secando las muestras hasta alcanzar una humedad inferior al 1%, para dar cumplimiento a las indicaciones dadas por las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en ensayos.

Figura 3. Agregado extendido sobre bandeja durante el secado.



Fuente: los autores.

Como se tienen materiales de diferentes lugares los ensayos se realizan por ciclos, ejecutando en primer lugar los ensayos del material fresado del tramo III de Metrolínea Cañaveral, posterior a estos se lleva a cabo los ensayos para el material de la Carrera 27 entre las calles 40 - 41 y finalizando con el material de la autopista vía Bucaramanga - Piedecuesta. Esto por conveniencia y por las condiciones de espacio y equipos de laboratorio.

Finalmente el procedimiento de caracterización del material es:

3.2.1 Porcentaje de material formado por aglomerado de partículas. Previo a realizar el ensayo de análisis granulométrico por tamizado del material se observó que fracción de material retenido en determinados tamices esta formado por aglomeración de partículas para cada uno de los materiales, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 2. Partículas formadas por aglomeración de agregados con asfalto.

% DE MATERIAL AGLOMERADO TRAMO III METROLÍNEA - CAÑAVERAL			% DE MATERIAL AGLOMERADO CARRERA 27 CALLES 40 - 41			% DE MATERIAL AGLOMERADO VIA PIEDECUESTA		
MALLA No.	PESO	% RETENIDO	MALLA No.	PESO	% RETENIDO	MALLA No.	PESO	% RETENIDO
1 1/2"	0	0.0%	1 1/2"	120.1	100.0%	1 1/2"	0	0.0%
1"	95	43.2%	1"	330.2	58.9%	1"	241.2	48.5%
3/4"	135	50.9%	3/4"	317	67.7%	3/4"	550	55.7%
1/2"	325	38.0%	1/2"	303.1	44.6%	1/2"	585.9	54.1%
3/8"	230	33.3%	3/8"	115.5	26.6%	3/8"	206.3	52.5%
No. 4	495	29.5%	No. 4	86.4	13.3%	No. 4	477.3	62.3%
No. 10	120	8.6%	No. 10	50.18	4.8%	No. 10	91.5	10.6%

Fuente: los autores.

Lo anterior permite considerar que el desgaste producido en el material en su mayoría se debe a la degradación del porcentaje de partículas aglomeradas.

3.2.2 Ensayo de análisis granulométrico por tamizado del material. Tiene el propósito de establecer la distribución de tamaño de partículas y compararlo con normas que permitan obtener materiales compactados de alta densidad.

En este caso, en cada material se pueden encontrar partículas compuestas por otras mas pequeñas que han sido ligadas con asfalto de manera que para caracterizar el tamaño de las partículas es necesario distinguir entre la granulometría de las partículas minerales y del material fresado. Por tal razón se hicieron entonces cuatro ensayos de análisis granulométrico por tamizado a cada uno de los materiales teniendo en cuenta las especificaciones dadas por la norma de INVIAS E – 213.

Figura 4. Tamices utilizados en la ejecución de Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado.



Fuente: los autores.

- Se realiza una separación por tamaños (ensayo de análisis granulométrico por tamizado) de las partículas sin importar si son granos de roca o aglomerado de rocas unidos con asfalto.

Figura 5. Comparación de materiales formados por aglomeración de asfalto y material granular o esqueleto mineral.



Fuente: los autores.

- Separación de tamaño de partículas minerales, por lo cual se somete el material a la extracción de asfalto en el extractor centrifugo con el fin de desprender las partículas, este proceso de extracción de asfalto se realiza a todos los materiales que se van a estudiar y en los diferentes ensayos a hacer.

Figura 6. Extractor centrifugo de asfalto.

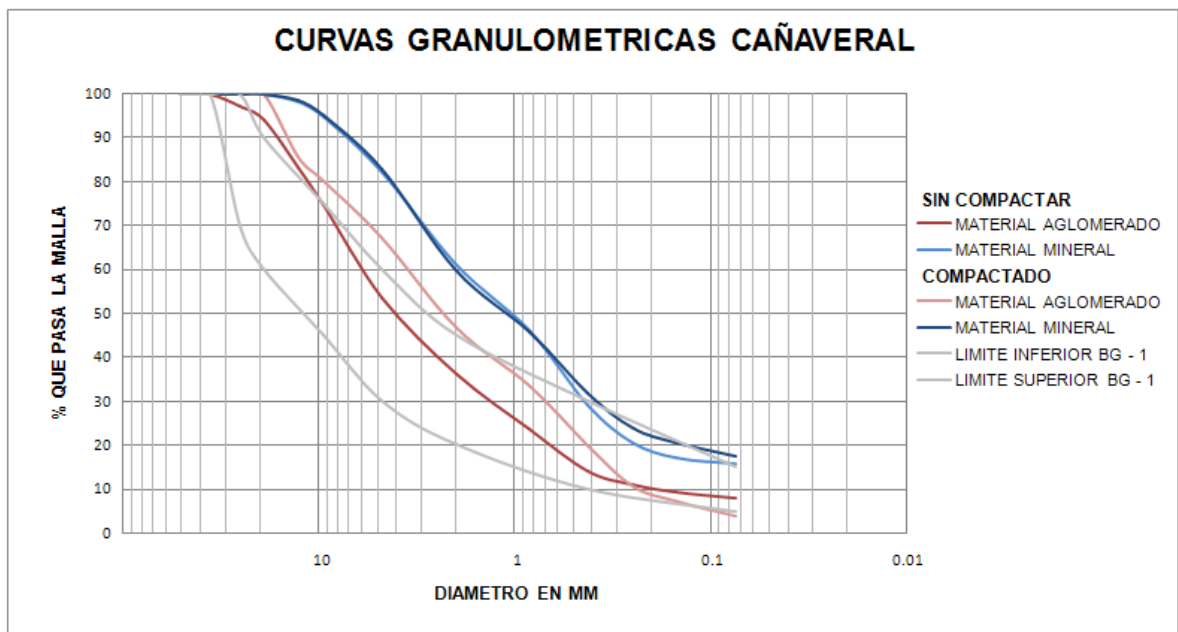


Fuente: los autores.

- Separación de partículas por tamaño sin importar si son granos de roca o aglomerado pero tratando de obtener la distribución de las partículas después de un proceso de compactación.
- Por ultimo, se realiza la separación de partículas minerales por tamaño después del proceso de compactación.

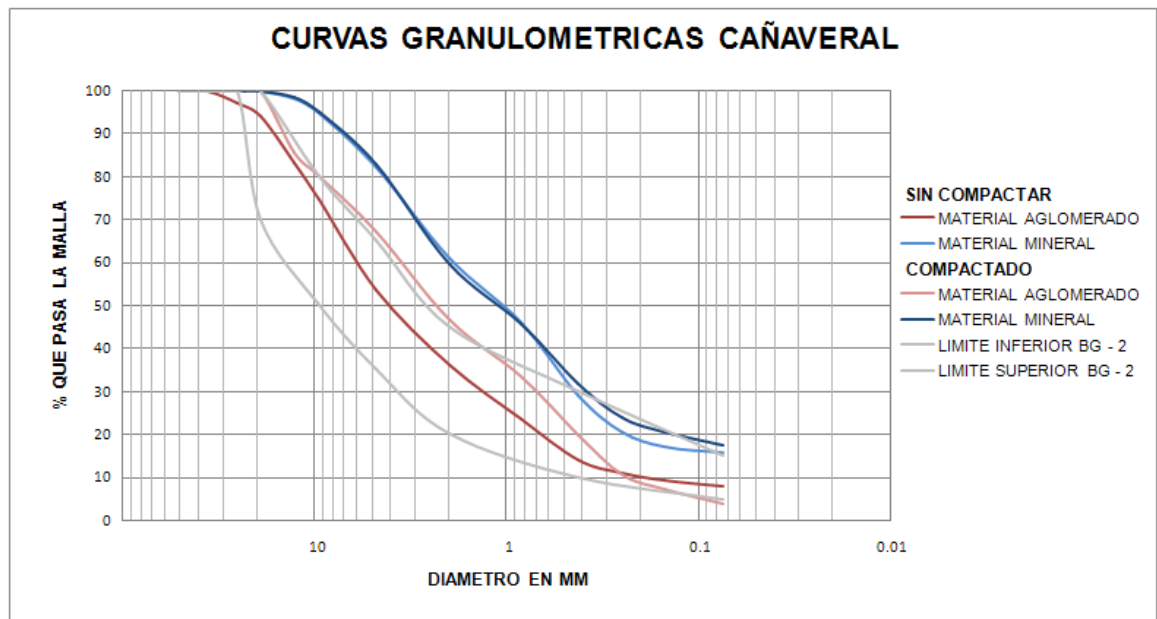
Los resultados obtenidos en el ensayo descrito anteriormente se muestran en las siguientes figuras para cada uno de los materiales.

Figura 7. Curvas Granulométricas del material de tramo III de Metrolínea, Cañaverál ajustadas a los límites de la BG 1 propuesta por INVIAS.



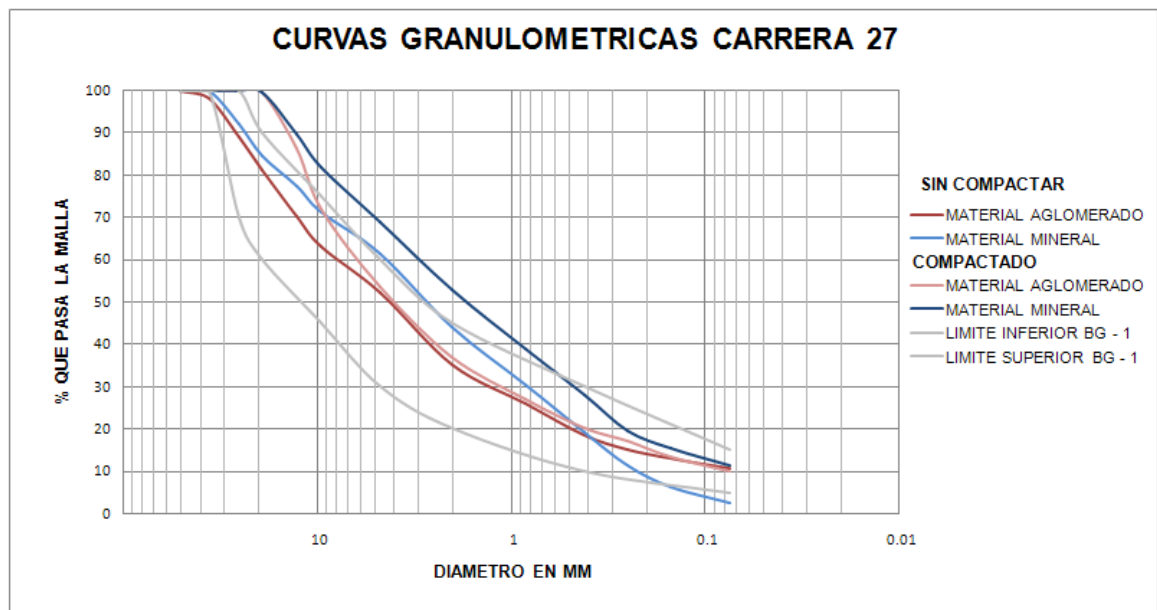
Fuente: los autores.

Figura 8. Curvas Granulométricas del material de tramo III de Metrolínea, Cañaverál ajustadas a los límites de la BG 2 propuesta por INVIAS.



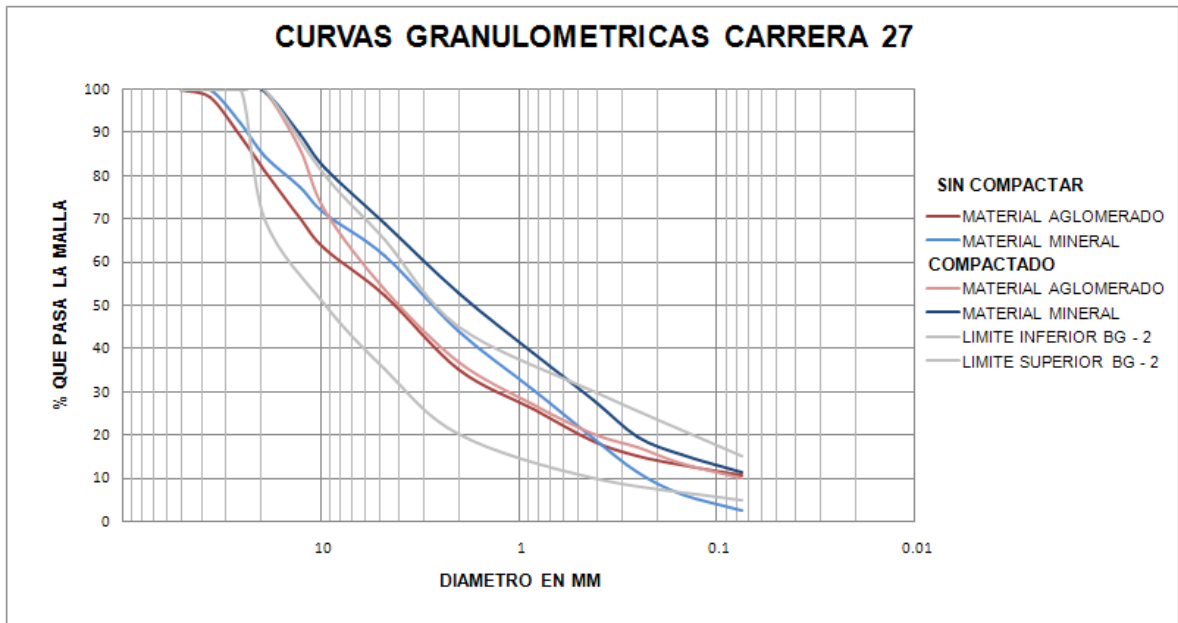
Fuente: los autores.

Figura 9. Curvas Granulométricas del material de rehabilitación carrera 27 entre calles 40 - 41 ajustadas a los límites de la BG 1 propuesta por INVIAS.



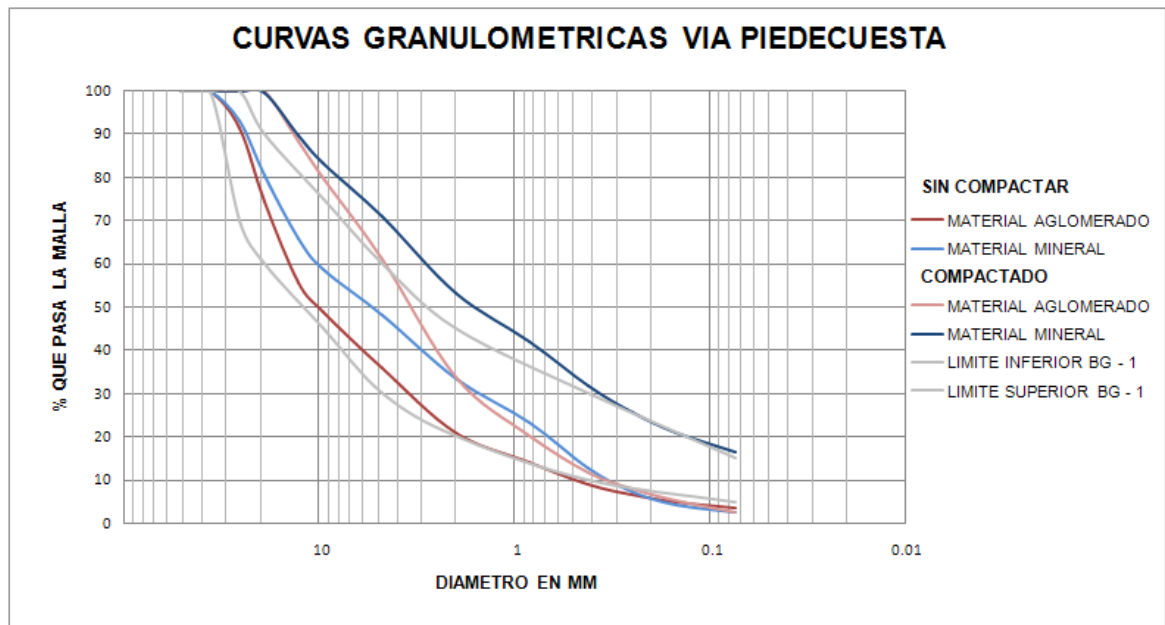
Fuente: los autores.

Figura 10. Curvas Granulométricas del material de rehabilitación carrera 27 entre calles 40 - 41 ajustadas a los límites de la BG 2 propuesta por INVIAS.



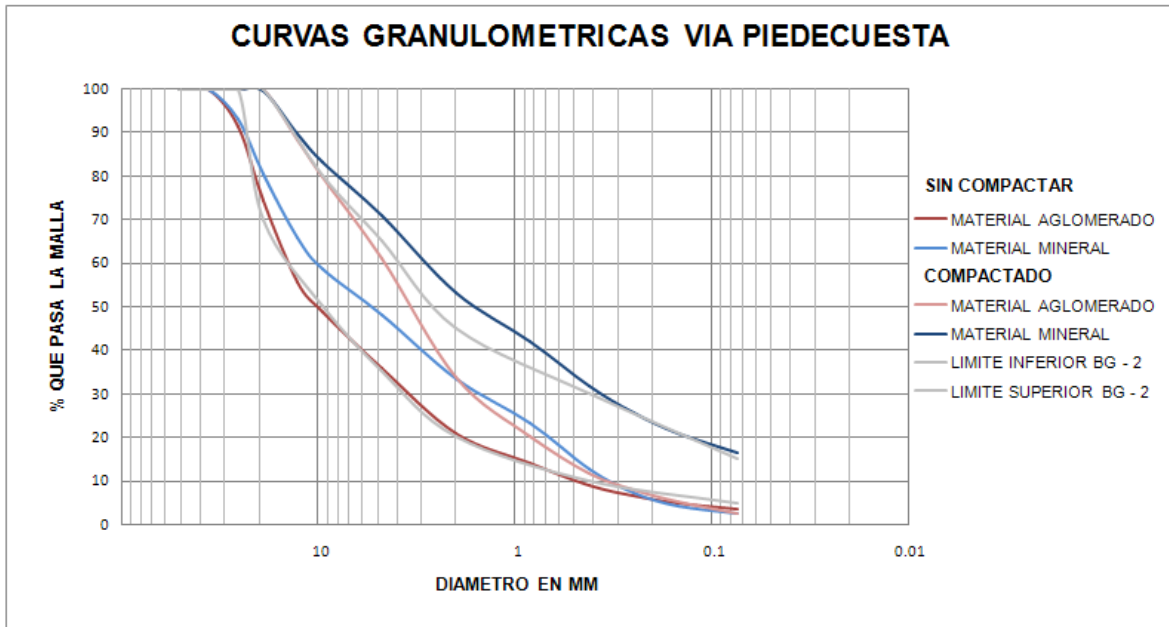
Fuente: los autores.

Figura 11. Curvas Granulométricas del material de vía Bucaramanga - Piedecuesta ajustadas a los límites de la BG 1 propuesta por INVIAS.



Fuente: los autores.

Figura 12. Curvas Granulométricas del material de vía Bucaramanga - Piedecuesta ajustadas a los límites de la BG 2 propuesta por INVIAS.



Fuente: los autores.

Con los resultados representados en las figuras anteriores se observa que los materiales formados por aglomerados de partículas presentan cantidades de fino menores, lo que se ve representado en que el porcentaje que pasa las diferentes mallas es menor que para los materiales de esqueleto mineral como también cuando es sometido a procesos de compactación, indicando de esta manera que el material sufre una variación en la distribución de los tamaños. También se observa que el material formado de aglomerados de agregado y asfalto se ajusta a las bandas granulométricas pero que debido a la variación de tamaño a causa de la extracción de asfalto o a la compactación este ajuste se ve afectado en la mayoría de los casos de manera desfavorable.

3.2.3 Ensayo de abrasión de agregados en la maquina de los Ángeles. Tiene como objetivo determinar la rigidez de las partículas y el porcentaje de degradación que presenta el material al ser sometido al contacto con las cargas abrasivas bajo determinado número de revoluciones por un tiempo establecido siguiendo la norma de ensayo INV E - 218.

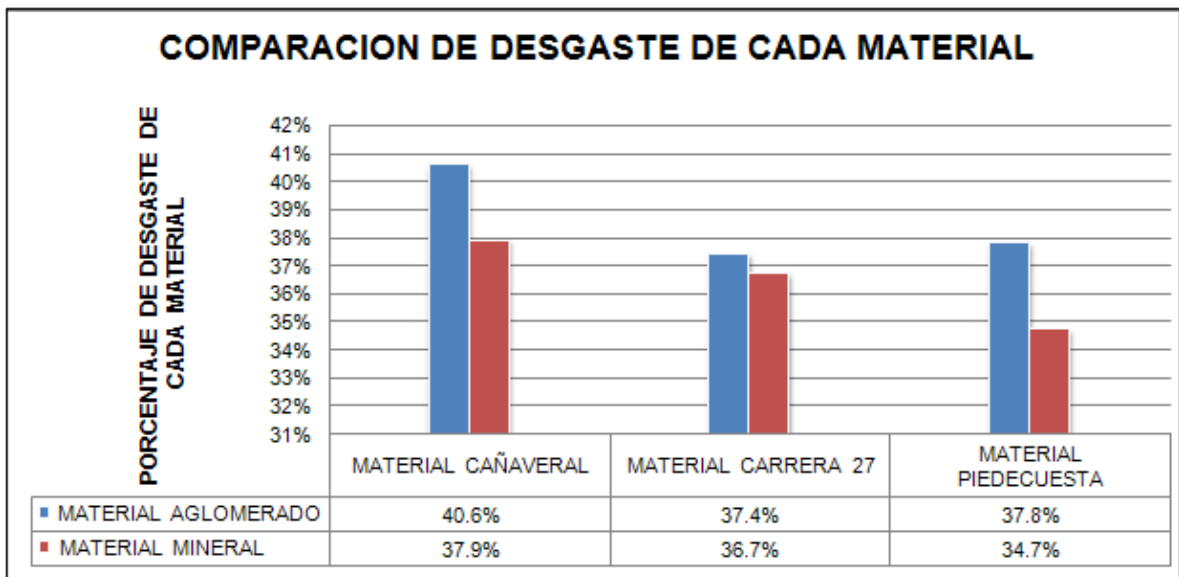
Figura 13. Equipo utilizado en ensayo de abrasión de agregados.



Fuente: los autores.

Este ensayo fue realizado tanto al material original sin importar si son granos de roca o aglomerados de roca unidos con asfalto y a las partículas minerales que son el material fresado sometido a la extracción de asfalto, obteniendo los resultados observados en la siguiente figura.

Figura 14. Resultados del ensayo de abrasión de agregados en la maquina de los Angeles.



Fuente: los autores.

3.2.4 Ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento. El objetivo del ensayo es conocer el índice de aplanamiento calculando el porcentaje de partículas retenidas en cada uno de los tamices con dimensión mínima (espesor) inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción, de forma similar para el índice de alargamiento pero aquellas partículas cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción. Siguiendo las especificaciones dadas por la norma de INVIAS E-230.

Figura 15. Calibradores utilizados en la ejecución del ensayo.



Fuente: los autores.

Este ensayo se realiza para los materiales formados por aglomerados de partículas con asfalto, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3. Resultados del ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento.

	CAÑAVERAL	CARRERA 27	PIEDRECUESTA
INDICE DE ALARGAMIENTO	24.45	8.72	5.93
INDICE DE APLANAMIENTO	25.9	26.9	17.6

Fuente: los autores.

3.2.5 Ensayo de Compactación. Para realizar la compactación se basó en el ensayo de *relación de peso unitario – humedad en los suelos Proctor Modificado* con el fin de calcular la humedad óptima de compactación del material y a la vez conocer la densidad seca máxima que presenta, compactando en 5 capas cada una con un espesor similar hasta llenar el molde aplicándole una energía de compactación de 55 golpes con el correspondiente martillo compactador, haciendo necesario este procedimiento hasta el momento en que el peso de la muestra

dentro del molde disminuyera y tomando pequeñas muestras para medir la humedad de cada uno de los moldes realizados, para así construir la grafica de densidad seca en función de humedad la cual indica la humedad optima del material y la densidad máxima de este, dicho procedimiento se realiza teniendo en cuenta la norma del instituto nacional de vías I.N.V. E – 141.

Figura 16. Equipo utilizado para ensayo de relación de peso unitario – humedad en los suelos, proctor modificado.



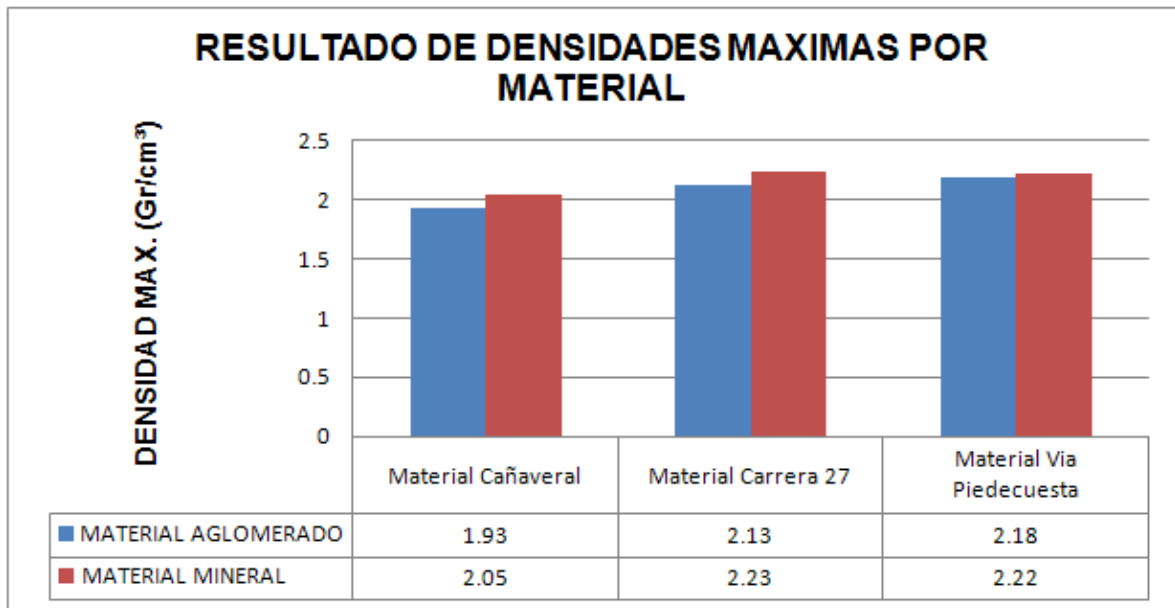
Molde No.	15
Peso Molde (gr)	6490
Volumen Molde (cm ³)	2114.32

Fuente: los autores.

Este procedimiento fue realizado para el material original formado por aglomerado de partículas con asfalto y el material sometido a la extracción de asfalto.

Los resultados obtenidos por este ensayo se muestran en la figura 16 que se muestra a continuación.

Figura 17. Resultados del ensayo Relación peso unitario – humedad en los suelos, proctor modificado.



Fuente: los autores.

De acuerdo a los resultados que se muestran en la figura anterior es importante considerar que las diferencias entre las densidades de los dos diferentes tipos de cada uno de los materiales significan mayor porosidad en la capa construida con material fresado. Por lo que se centró en la manera en que evoluciona la porosidad de la capa de material fresado a medida que se apliquen cargas y si podrían presentar mayores deformaciones por la recompactación.

Se sugiere entonces una prueba en la que se trate de identificar esta evolución, dicha prueba se describe mas adelante donde se observa el comportamiento obtenido por cada material.

3.2.6 Ensayo de Capacidad mecánica de la capa de base. Para determinar la capacidad mecánica de la capa se siguió el ensayo de *CBR en laboratorio*, por lo que se humedece o se deja secar el material hasta el punto en que presente la humedad optima hallada en el ensayo de relación de peso unitario – humedad, proctor modificado, posterior a esto se compacta teniendo en cuenta que el molde utilizado tiene dimensiones diferentes al usado en el ensayo de proctor modificado por lo que se coloca en la parte inferior del molde un falso fondo de manera que la probeta tenga las dimensiones deseadas, una vez hecho esto se procede a compactar en 5 capas con espesores iguales, se voltea el molde, se retira el falso fondo y se pesa la muestra mas molde con el objetivo de calcular su densidad y

compararla con la densidad máxima obtenida en proctor modificado, después de esto se coloca sobre la superficie de la muestra la placa perforada con vástago y sobre ella la sobrecarga necesaria de manera que se produzca una presión equivalente por las capas de materiales que vayan encima de este suelo, se sumerge en agua por un periodo de 1 día para que se sature y se haga la penetración del pistón en la situación menos favorable. Este ensayo se realiza como indica la norma del instituto nacional de vías I.N.V. E – 148 para suelos granulares.

Tabla 4. Características del molde utilizado en ensayo de relación de soporte del suelo en laboratorio.

Peso (gr)	6795
Volumen probeta(cm ³)	2316.564

Fuente: los autores.

En la siguiente fotografía se muestra la probeta en el momento previo de hacer la penetración del pistón para calcular la presión necesaria para determinada penetración.

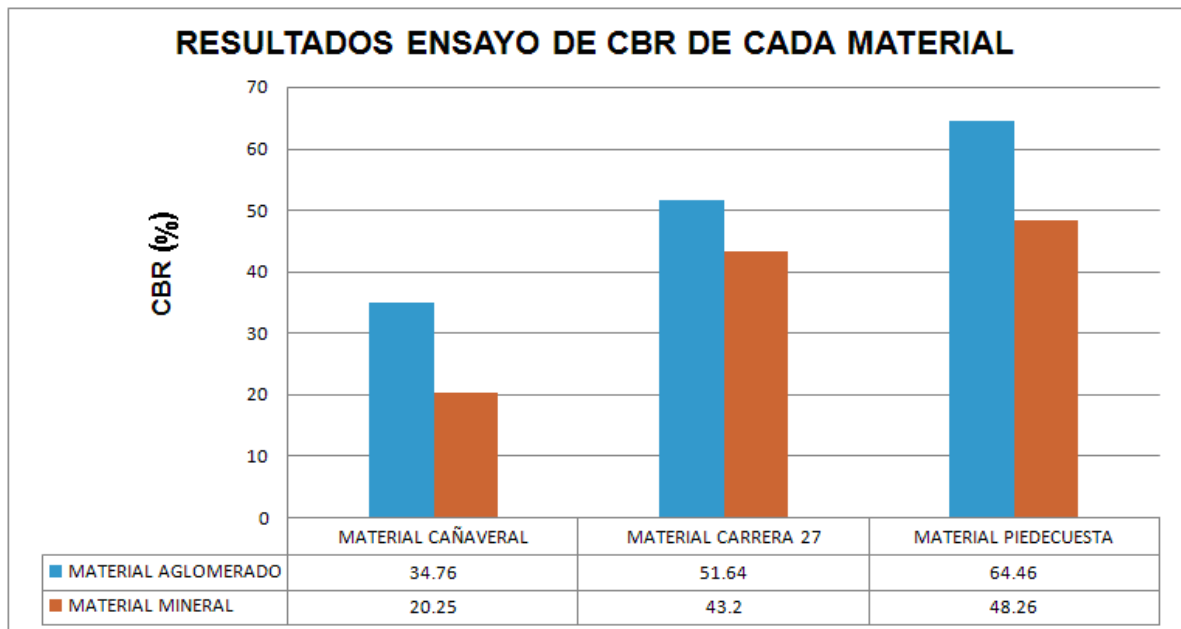
Figura 18. Ensayo de relación de soporte del suelo en laboratorio.



Fuente: los autores.

De la misma manera que para los otros ensayos este procedimiento se realiza para el material original el cual es el formado por aglomerado de partículas con asfalto como para el material mineral que es el fresado sometido a la extracción de asfalto, obteniendo los siguientes resultados.

Figura 19. Relación de soporte, CBR de cada material.



Fuente: los autores.

Se observa en la figura anterior que la capacidad mecánica de la capa es mayor para el material formado por aglomerado de roca con asfalto que para el material que se le realizó la extracción de asfalto de cada uno de los lugares de los cuales se estudio el material.

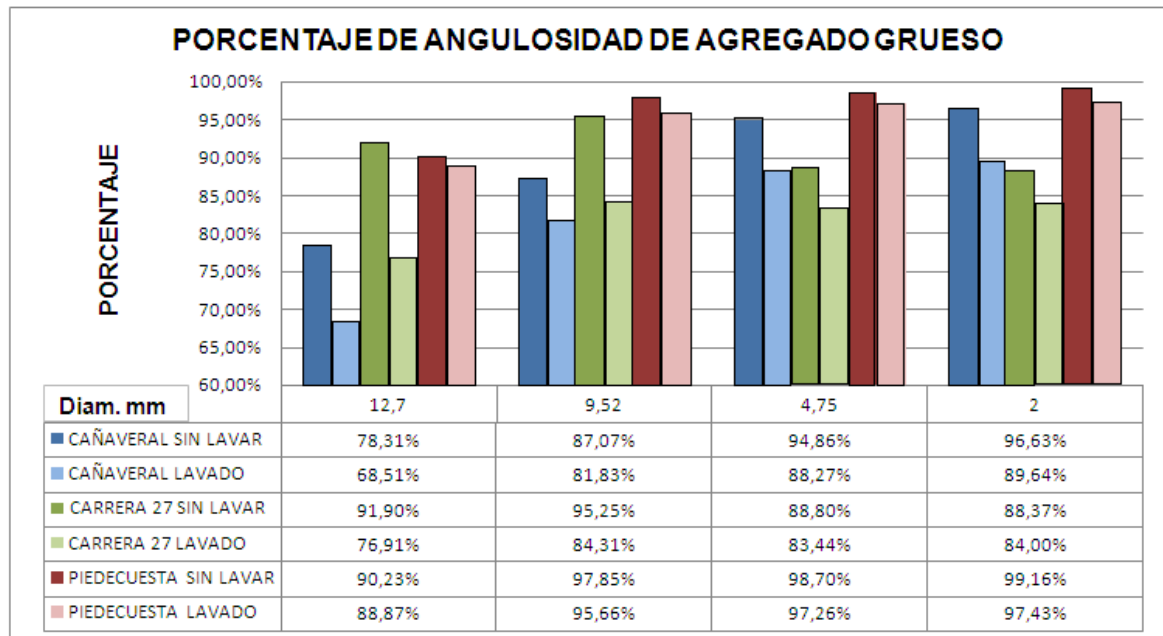
Debido a los resultados obtenidos se realizaron ensayos en cuanto a la forma de las partículas (angularidad) con el propósito de explicar las diferencias de las capacidades mecánicas.

3.2.7 Angularidad de las partículas. Esta es otra de las propiedades observadas en los agregados producto del fresado, teniendo en cuenta que las partículas alargadas pueden romperse fácilmente durante la compactación o después bajo la acción del tráfico modificando con ello la granulometría inicial del material; mientras que entre mayor angularidad se presente beneficia la resistencia por el rozamiento interno que se genera entre las partículas provocando que permanezcan en su lugar cuando la estructura entre en funcionamiento evitando

que se produzcan desplazamientos y aumentando la capacidad mecánica de la capa.

Esta determinación de la angularidad de las partículas se realiza observando que porcentaje de partículas con tamaños superiores al del tamiz No. 10 son angulosas.

Figura 20. Porcentaje de partículas angulosas retenidas en cada tamiz.



Fuente: los autores.

3.2.8 Evolución de la porosidad. Con el propósito de simular una carga dinámica como la impuesta por los vehículos de manera que se obtenga el comportamiento de la capa sometido a recompactación se realizan tres probetas de cada uno de los tres materiales tanto sin lavar en solvente como lavándolo, compactándolas a un grado mayor del 95% de *proctor modificado* para obtener la densidad máxima de cada material y midiendo la deformación que sufre el material como resultado de la aplicación de la carga.

Figura 21. Probetas para simular carga dinámica.

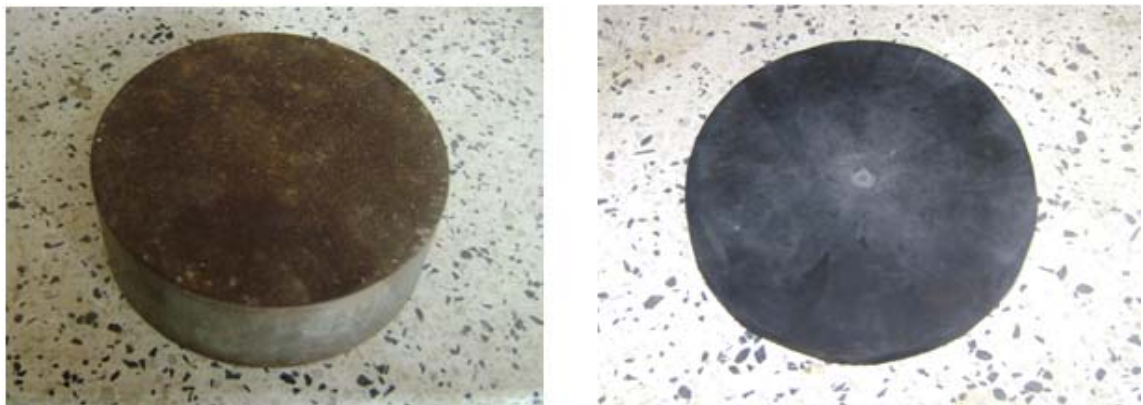


Fuente: los autores.

Después de tener las probetas listas para cada material el procedimiento que se realiza es el siguiente:

En la parte superior de la probeta se coloca una carga estática la cual corresponde a un disco con el mismo diámetro de la probeta y con una altura de 5 cm que tiene un peso de 6835 gr, después de esta carga se coloca un disco de caucho con el objetivo de simular el efecto de la llanta de los vehículos sobre la probeta a ensayar.

Figura 22. Discos colocados en parte superior de probeta.



Fuente: los autores.

Con lo anterior se sigue con la aplicación de una energía de compactación la cual se ejecuta en primer lugar con el martillo de compactación de proctor el cual tiene un peso de 4 kilos midiendo la deformación de la probeta cada determinado numero de golpes hasta el punto en el cual la deformación fuera mínimo, una vez se obtiene dicha deformación mínima se continua aplicando una mayor energía de compactación que corresponde a un peso de 8 kilos, midiendo la deformación cada determinado numero de golpes y de la misma manera hasta el punto en el cual la deformación fuera mínimo.

Determinando de tal manera que tanto se densifican las partículas y tratando con esto de eliminar por completo el volumen de vacios y los poros que presenta la muestra compactada, haciendo comparaciones entre el material del mismo lugar pero con las respectivas extracciones de asfalto.

Figura 23. Aplicación de energía de compactación.

Martillo 4 Kilos



Fuente: los autores.

En la siguiente figura se muestra la manera como se mide la deformación tras el impacto de la carga aplicada.

Figura 24. Medición de deformación de probeta.



Fuente: los autores.

A continuación se muestran los resultados obtenidos por cada uno de los materiales al someterlos a la aplicación de carga dinámica tanto sin lavarlos en solvente como lavándolo y que densidad llega a tener el material.

- *Material Cañaverál.*

Figura 25. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Cañaverál.

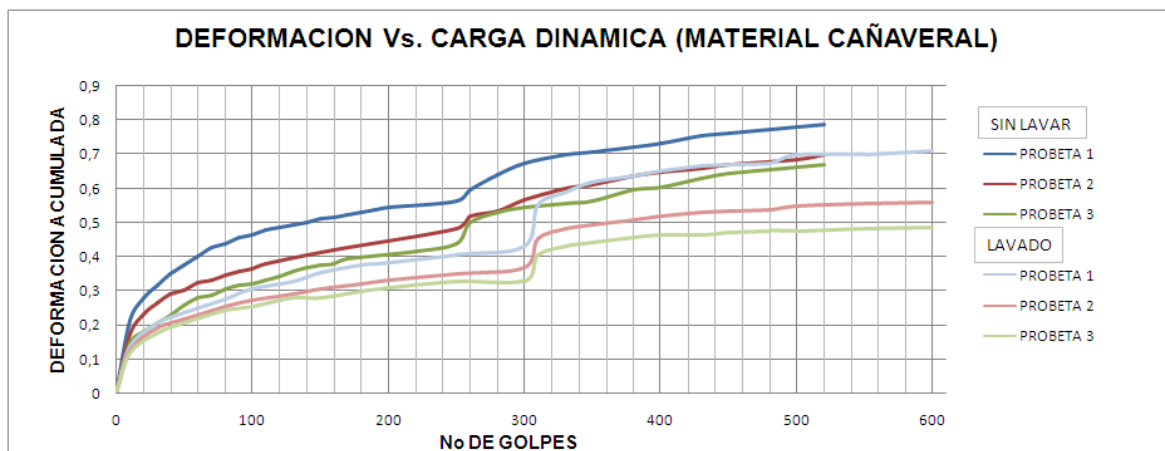


Tabla 5. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Cañaverál.

	PROBETA 1		PROBETA 2		PROBETA 3	
	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO
DENSIDAD DE COMPACTACION (Gr/cm ³)	1,84	2,07	1,86	2,08	1,87	2,09
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 4 KILOS (Gr/cm ³)	1,92	2,15	1,93	2,14	1,93	2,14
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 8 KILOS (Gr/cm ³)	1,96	2,20	1,97	2,18	1,97	2,17
VARIACION RESPECTO A DENSIDAD DE COMPACTACION	106,52%	106,13%	105,91%	104,86%	105,35%	103,88%

- *Material Carrera 27 calles 40 – 41.*

Figura 26. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Cañaverál.

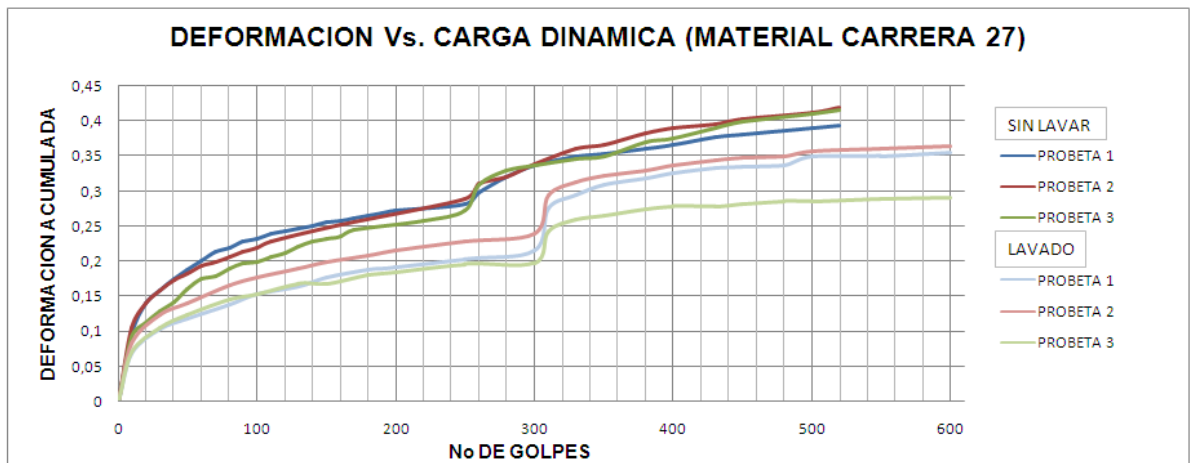


Tabla 6. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Carrera 27.

	PROBETA 1		PROBETA 2		PROBETA 3	
	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO
DENSIDAD DE COMPACTACION (Gr/cm ³)	2,119	2,217	2,097	2,184	2,097	2,178
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 4 KILOS (Gr/cm ³)	2,17	2,26	2,15	2,22	2,14	2,22
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 8 KILOS (Gr/cm ³)	2,19	2,28	2,17	2,24	2,17	2,24
VARIACION RESPECTO A DENSIDAD DE COMPACTACION	103,35%	102,84%	103,48%	102,56%	103,48%	102,85%

- *Material Autopista Vía Piedecuesta.*

Figura 27. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material de Piedecuesta.

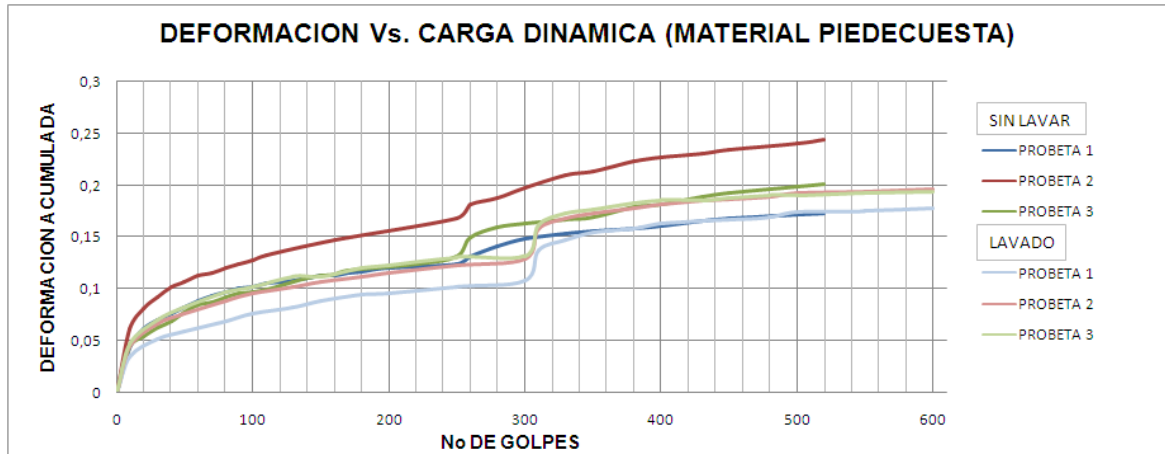


Tabla 7. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material Vía Piedecuesta.

	PROBETA 1		PROBETA 2		PROBETA 3	
	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO	SIN LAVAR	LAVADO
DENSIDAD DE COMPACTACION (Gr/cm ³)	2,141	2,214	2,125	2,196	2,117	2,198
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 4 KILOS (Gr/cm ³)	2,16	2,23	2,15	2,22	2,14	2,22
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 8 KILOS (Gr/cm ³)	2,17	2,25	2,17	2,23	2,15	2,23
VARIACION RESPECTO A DENSIDAD DE COMPACTACION	101,35%	101,63%	102,12%	101,55%	101,56%	101,46%

Fuente: los autores.

Se observa que para los diferentes materiales se obtienen porcentajes de aumento de densidad distintos, los cuales oscilan entre 2.12% a 6.52% pero que si se mantienen para los materiales de un mismo lugar, teniendo en cuenta que para saber si esta deformación o aumento de densidad es normal es necesario hacer lo mismo con un material tradicional de base granular de manera que se conozca la evolución del material tras la aplicación de la carga dinámica y hacer comparaciones con los resultados anteriormente obtenidos, los resultados de este ensayo para el material tradicional se presentan a continuación.

- *Material Tradicional de base granular.* Con el propósito de comparar como evoluciona la porosidad entre el material fresado con un material tradicional de base granular que cumple con todos los requerimientos impuestos por la normas de INVIAS, se realiza este ensayo.

En la siguiente fotografía se muestra el material tradicional que se utiliza para hacer las diferentes comparaciones.

Figura 28. Material tradicional de bases granulares utilizado para comparaciones.



Fuente: los autores.

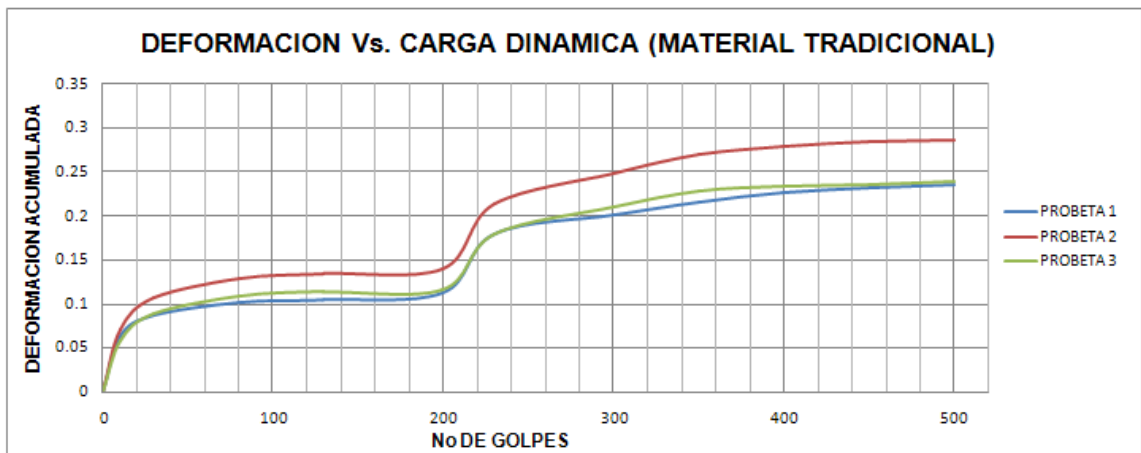
A continuación se dan a conocer las diferentes propiedades mecánicas del material utilizado para las comparaciones.

Tabla 9. Densidades obtenidas después de compactar.

%W optima	5.70%	%W optima	5.70%	%W optima	5.70%
Peso molde (gr)	7095	Peso molde (gr)	7095	Peso molde (gr)	7095
Peso molde + muestra (gr)	12105	Peso molde + muestra (gr)	12185	Peso molde + muestra (gr)	12195
Peso muestra (gr)	5010	Peso muestra (gr)	5090	Peso muestra (gr)	5100
Peso muestra seca (gr)	4724.43	Peso muestra seca (gr)	4799.87	Peso muestra seca (gr)	4809.30
Volumen molde (cm ³)	2316.56	Volumen molde (cm ³)	2316.56	Volumen molde (cm ³)	2316.56
Densidad (gr/cm ³)	2.039	Densidad (gr/cm ³)	2.072	Densidad (gr/cm ³)	2.076
% de densidad con respecto a max.	97.11%	% de densidad con respecto a max.	98.67%	% de densidad con respecto a max.	98.86%

Fuente: los autores.

Figura 30. Deformación causada por la aplicación de la carga dinámica en material tradicional.



Fuente: los autores.

Tabla 10. Resultados obtenidos después de aplicar carga dinámica material tradicional de base granular.

MATERIAL TRADICIONAL DE BASE GRANULAR			
	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3
DENSIDAD DE COMPACTACION (Gr/cm ³)	2.039	2.072	2.076
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 4 KILOS (Gr/cm ³)	2.058	2.095	2.095
DENSIDAD DESPUES DE CARGA DE 8 KILOS (Gr/cm ³)	2.08	2.09	2.08
VARIACION DE PORCENTAJE DENSIDAD CON RESPECTO A INICIAL	101.91%	100.72%	100.13%

Fuente: los autores.

Dichos resultados permiten ver que la variación de la densidad en un material tradicional usado para base granular sometido a este tipo de ensayo no supera el 2% de aumento con respecto a la densidad con que se compacto. En la siguiente tabla se muestran de forma comparativa los diferentes resultados de aumento de densidad de cada material después del ensayo de *evolución de porosidad*.

Tabla 11. Comparación de resultados después de ensayo de Evolución de porosidad.

Aumento de porcentaje de densidad con respecto a inicial de cada material	Material			
	Tradicional	Cañaveral	Carrera 27	Via Piedecuesta
	1.91%	6.52%	3.48%	2.12%

Fuente: los autores.

3.3. CUMPLIMIENTO DE REQUERIMIENTOS DE BASES GRANULARES

Los parámetros tenidos en cuenta para observar si los materiales estudiados cumplen con los requerimientos adoptados por el Instituto Nacional de Vías INVIAS son los mostrados en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que los ensayos realizados al material de estudio son los descritos anteriormente.

Tabla 12. Normatividad usada para verificación de resultados de ensayos.

CAPA	PARTICULAS FRACTURADAS MECANICAMENTE (Agregado grueso)	DESGASTE LOS ANGELES	PERDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDEZ EN		INDICES DE APLANAM. Y ALARGAM.	C. B. R.	I. P.	EQUIV. DE ARENA
			Sulfato de Sodio	Sulfato de Magnesio				
BASE GRANULAR	50 % mín.	40 % máx.	12 % máx.	18 % máx.	35 % máx.	80 % mín.	<= 3	30 % mín.

Fuente: Norma Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Es importante mencionar que en la presente investigación no se realizan los siguientes ensayos:

- Perdidas en ensayos de solidez.
- Equivalente de arena.

Estos ensayos no son sobresalientes para el análisis que se está teniendo en cuenta debido a que el material producto de fresado en su mayoría está formado por aglomeración de partículas unidas entre sí por asfalto, lo que indica que esa no es la forma original de las partículas y que al ser sumergido en sulfatos se pueden ver afectadas dichas aglomeraciones por la pérdida de asfalto, provocando que se obtengan resultados no representativos para el fin de la investigación. No se tiene en cuenta el ensayo de equivalente de arena ya que su objetivo es encontrar la cantidad de arcillas que hay en el material la cual no será sobresaliente porque es un material producto de asfalto donde ya fue considerado en el análisis previo para el diseño de la mezcla asfáltica.

Se observa con los resultados obtenidos que no todos los tipos de materiales de los diversos lugares presentan una granulometría que se ajusta correctamente a las bandas granulométricas propuestas por INVIAS (Tabla 1), teniendo en cuenta principalmente que cuando el material se somete a un proceso de compactación su curva granulométrica sobrepasa en algunos casos el límite establecido por la norma.

Presentan una resistencia al desgaste que podría ser aceptable ya que los materiales se encuentran en el rango permitido por la norma, solo en un caso se sobrepasa por muy poco el valor recomendado de 40%, lo que indica que estos materiales pueden presentar buena rigidez.

Observando los resultados obtenidos por los índices de alargamiento y aplanamiento son aceptables debido a que no sobrepasan el valor dado por INVIAS el cual es del 35% máximo.

En cuanto a la relación de soporte de los materiales (CBR), basados en los requisitos pedidos por INVIAS, estos materiales producto del fresado como se puede ver en los análisis (figura 25) presentan un CBR mayor para el caso del material sin lavar en solvente en comparación con el material lavado, pero al hacer la comparación con el requisito exigido, los primeros se encuentran muy cerca del valor dado por esta, teniendo en cuenta que en ningún caso el valor de la relación de soporte sobrepasa la exigencia, caso contrario para el material lavado (esqueleto mineral), que presentan unos valores de CBR muy por debajo del valor exigido.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la construcción de bases granulares con un material producto de fresado de capas de asfalto se genera un arreglo de partículas diferente al del material de esqueleto mineral original, lo que se evidencia en la granulometría, CBR y en la alta porosidad que se presenta tras la compactación.

Los resultados obtenidos en el ensayo de desgaste son similares tanto para el material fresado como para el esqueleto mineral, debido en gran parte a la cantidad de partículas formadas por aglomerados de asfalto y agregado que se desintegran más rápido con los primeros giros, mientras que las partículas fraccionadas ya no se desintegran a la misma velocidad, indicando que dicho ensayo no es representativo para conocer la resistencia y durabilidad de las partículas.

La resistencia a esfuerzos cortantes medida a través del ensayo de CBR es mayor en el material fresado (aglomerado de asfalto y agregado), en relación con el material original (esqueleto mineral).

El ensayo de *evolución de porosidad* propuesto permite ver en comparación con el material tradicional de base granular, que al aplicar carga dinámica la deformación que presenta el material fresado es mucho mayor debido a que hay un gran incremento en su compacidad en relación con el material tradicional, indicando la presencia de gran cantidad de poros que pueden provocar deformaciones durante su periodo de funcionamiento.

Así se cumpla el CBR no se garantiza que el material sea apto para la construcción de bases granulares debido a la gran cantidad de vacíos que se pueden presentar y a la variación del tamaño de las partículas evidenciada en el cambio de granulometría después de someterlo a compactación. Lo anterior podría generar mayor deformabilidad en las probetas.

Los estudios realizados tienden a indicar que el material fresado no debe ser usado como base granular y que las características mecánicas de capas construidas con este material son inferiores a lo que requiere una base de pavimento en la construcción de bases granulares con materiales reciclados de mezclas asfálticas, cumplir con los valores mínimos especificados por norma para los diferentes ensayos no es garantía de la calidad de las capas obtenidas.

Es necesario concebir ensayos mas apropiados para determinar las aplicaciones como capas de pavimento que se pueda dar al material obtenido de fresado de mezclas asfálticas.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ LORANCA, RAFAEL. Control de Compactación de las Capas Granulares. <http://www.geocisacarreteras.com/docs/compactacion.doc>

EL MUNDO DE LAS FRESADORAS EN FRIO WIRTGEN. Eliminar y granular eficientemente firmes de carreteras. <http://www.wirtgen.com/>

GUTIERREZ, IVAN. Nociones de pavimentos flexibles. Politécnico colombiano Jaime Isaza Cadavis, Medellín-1991.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Normas de ensayos de materiales para carreteras.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Especificaciones generales para la construcción, rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de carreteras y puentes.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de Tesis de Grado, NTC 1486 5ª actualización.

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

VALLE RODAS, Raúl. Carreteras, calles y aeropistas; Principios generales de mecánica de suelos aplicados a la pavimentación. Buenos Aires. El Ateneo, 1976.

ANEXOS

ANEXO A1. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



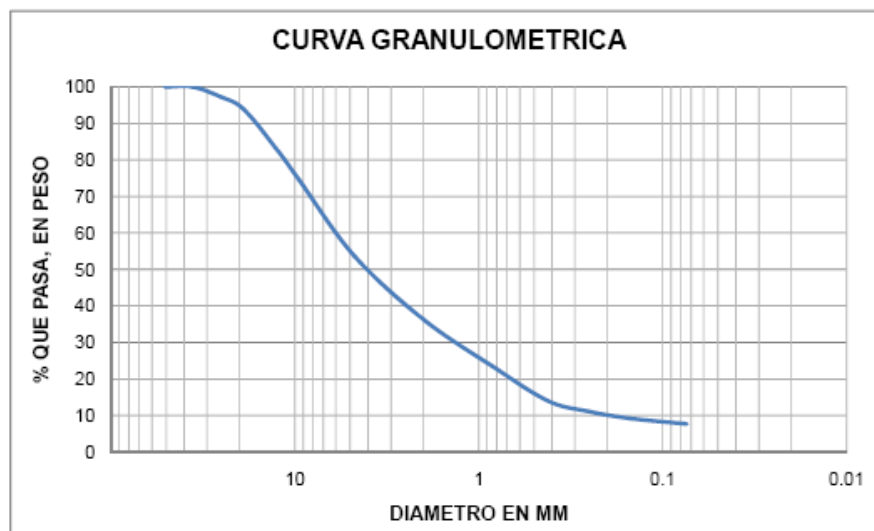
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 7 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>8005</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)			
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>7435</u>
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	<u>0.56%</u>
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	1390	17.364	36.290
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	1030	12.867	23.423
1"	25.4	220	2.748	97.252	40	0.42	755	9.432	13.991
3/4"	19.05	265	3.310	93.941	60	0.25	235	2.936	11.056
1/2"	12.7	855	10.681	83.260	100	0.149	150	1.874	9.182
3/8"	9.52	690	8.620	74.641	200	0.074	115	1.437	7.745
No. 4	4.75	1680	20.987	53.654	PASA 200	*****	575		
SUMA	*****	3710			SUMA	*****	4250		
					TOTAL		7960		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A2. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



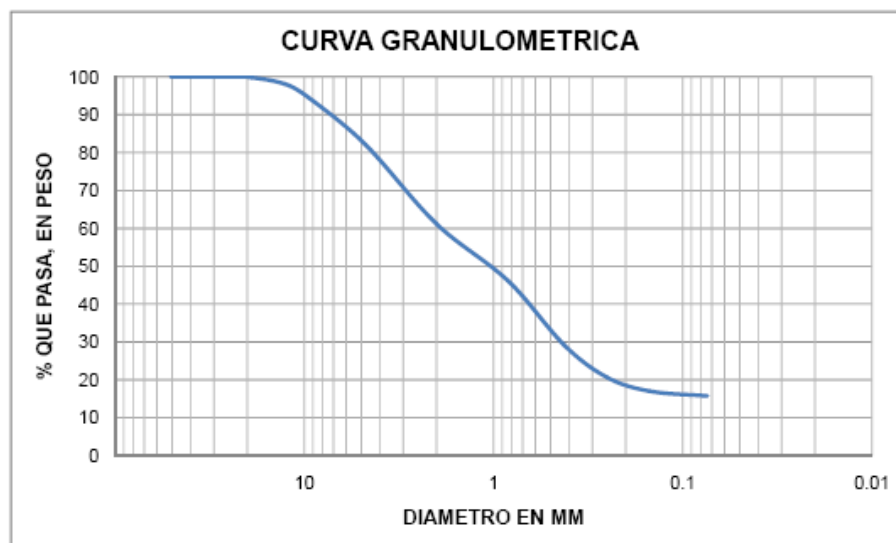
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 15 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material se lavó en gasolina sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>7275</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>6135</u>
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	<u>0.02%</u>
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	1525	20.962	61.168
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	1088.5	14.962	46.206
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	1244	17.100	29.107
3/4"	19.05	15	0.206	99.794	60	0.25	614.5	8.447	20.660
1/2"	12.7	125	1.718	98.076	100	0.149	264.7	3.638	17.021
3/8"	9.52	255	3.505	94.570	200	0.074	92.2	1.267	15.754
No. 4	4.75	905	12.440	82.131	PASA 200	*****	1144.95		
SUMA	*****	1300			SUMA	*****	5973.85		
					TOTAL		7273.85		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A3. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



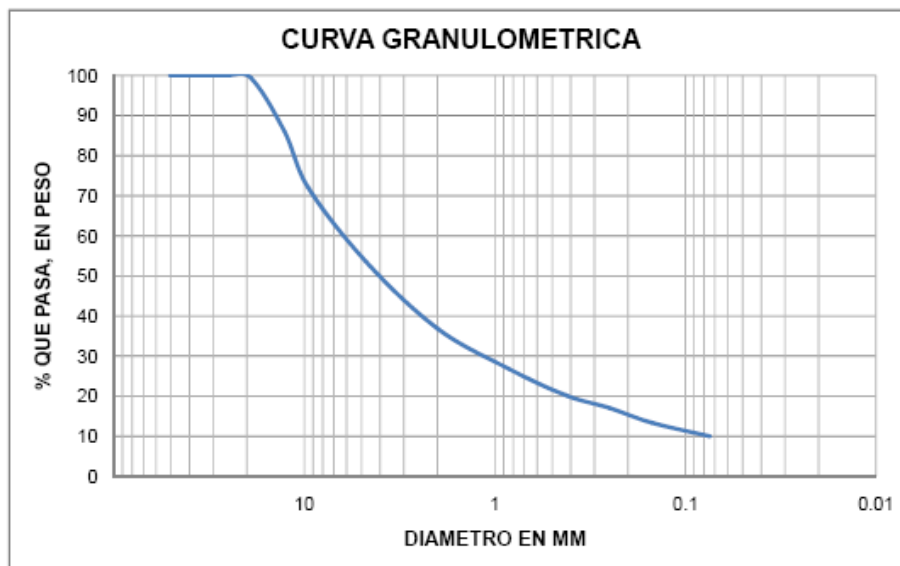
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 22 de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material rehabilitación carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	4668.7
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4668.7
TARA + MUESTRA SECA (Gr)			
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	8.89%
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	777.8	16.660	36.907
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	470.9	10.086	26.821
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	308.5	6.608	20.213
3/4"	19.05	30	0.643	99.357	60	0.25	145	3.106	17.108
1/2"	12.7	619.4	13.267	86.090	100	0.149	174.3	3.733	13.374
3/8"	9.52	659.2	14.120	71.971	200	0.074	156.5	3.352	10.022
No. 4	4.75	859.2	18.403	53.567	PASA 200	*****	52.69		
SUMA	*****	2167.8			SUMA	*****	2085.69		
					TOTAL		4253.49		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A4. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



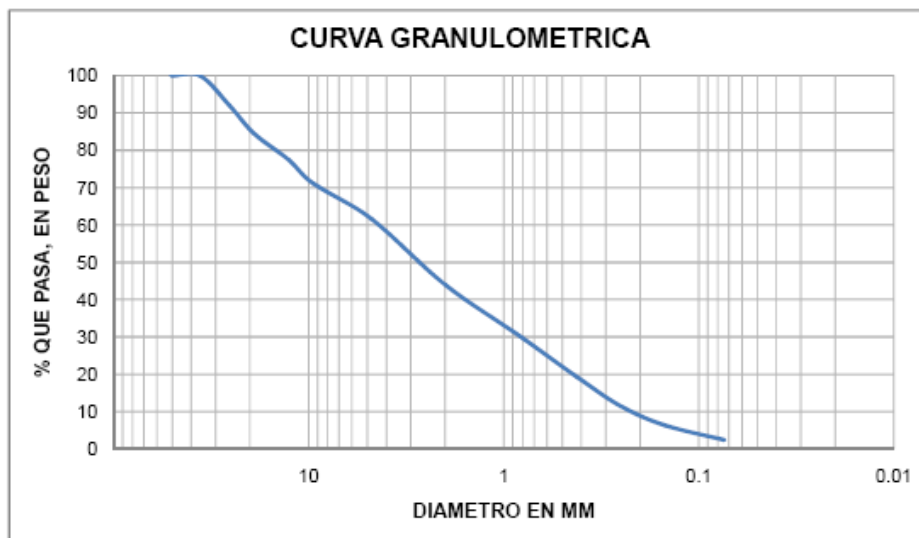
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 28 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material lavado en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	4700
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4625
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	0.23%
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	825.7	17.568	43.964
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	634.4	13.498	30.466
1"	25.4	379	8.064	91.936	40	0.42	527.8	11.230	19.236
3/4"	19.05	352	7.489	84.447	60	0.25	369.2	7.855	11.381
1/2"	12.7	326	6.936	77.511	100	0.149	237.8	5.060	6.321
3/8"	9.52	298	6.340	71.170	200	0.074	185.4	3.945	2.377
No. 4	4.75	453	9.638	61.532	PASA 200	*****	101		
SUMA	*****	1808			SUMA	*****	2881.3		
					TOTAL		4689.3		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A5. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Vía Piedecuesta.



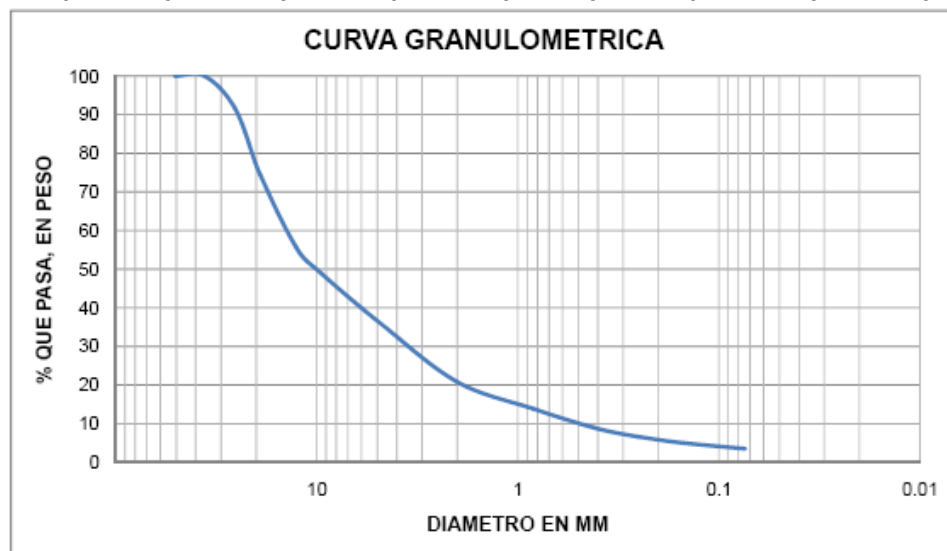
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 22 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>5800</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>5602</u>
TARA + MUESTRA SECA (Gr)			
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)		PORCENTAJE DE ERROR	<u>0.07%</u>

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	864	14.897	20.819
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	402.5	6.940	13.879
1"	25.4	497.7	8.581	91.419	40	0.42	286.8	4.945	8.934
3/4"	19.05	988.3	17.040	74.379	60	0.25	135.1	2.329	6.605
1/2"	12.7	1082.8	18.669	55.710	100	0.149	95.5	1.647	4.959
3/8"	9.52	393.1	6.778	48.933	200	0.074	85.3	1.471	3.488
No. 4	4.75	766.6	13.217	35.716	PASA 200	*****	198		
SUMA	*****	3728.5			SUMA	*****	2067.2		
					TOTAL		5795.7		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A6. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Vía Piedecuesta.



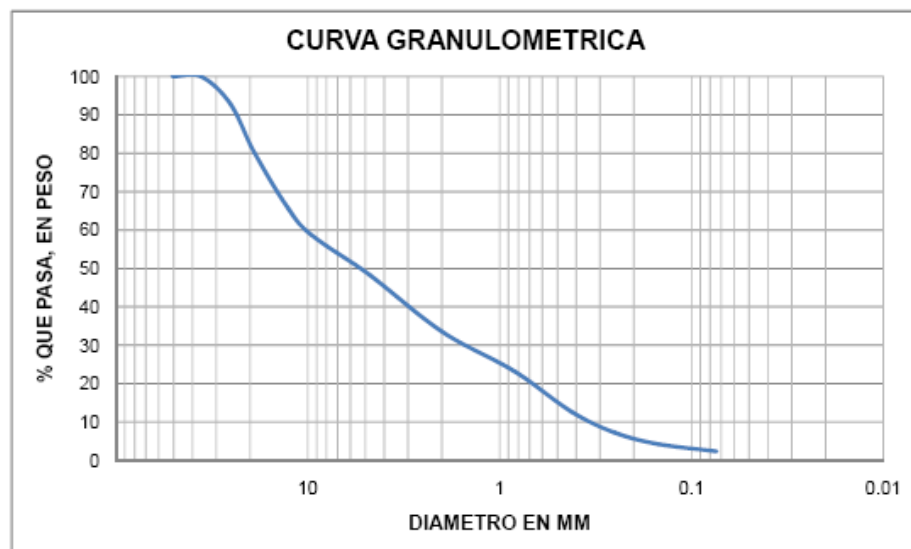
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 28 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material lavado en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>5100</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>5020</u>
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	<u>0.03%</u>
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	752.6	14.757	33.494
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	522	10.235	23.259
1"	25.4	359.5	7.049	92.951	40	0.42	543.3	10.653	12.606
3/4"	19.05	644	12.627	80.324	60	0.25	278.2	5.455	7.151
1/2"	12.7	743	14.569	65.755	100	0.149	150	2.941	4.210
3/8"	9.52	362.5	7.108	58.647	200	0.074	98.4	1.929	2.280
No. 4	4.75	530.2	10.396	48.251	PASA 200	*****	114.9		
SUMA	*****	2639.2			SUMA	*****	2459.4		
					TOTAL		5098.6		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO A7. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material tradicional para bases granulares.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

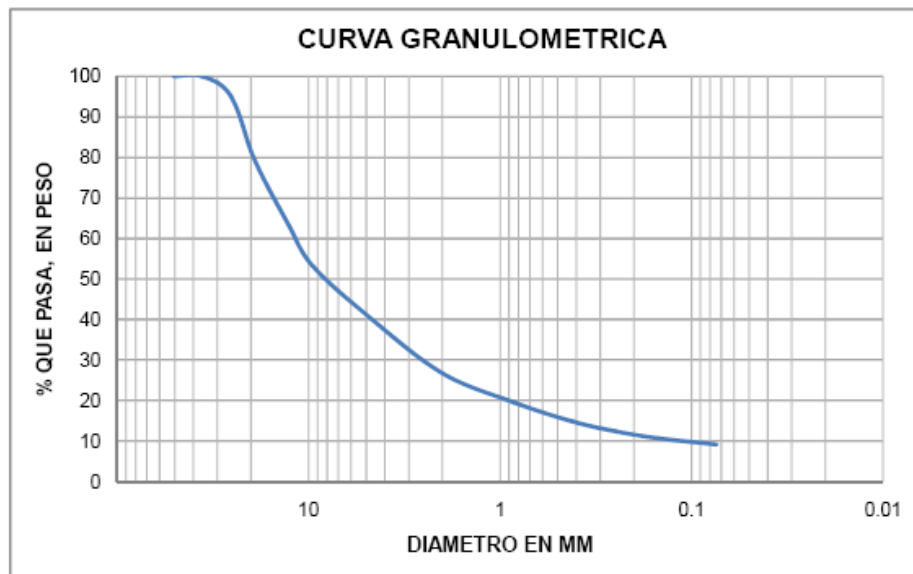
ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Julio de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tradicional de base granular
 MATERIAL: _____

PESO TARA (Gr)	
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)	
TARA + MUESTRA SECA (Gr)	
PESO AGUA (Gr)	
PESO MUESTRA SECA (Gr)	
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>6000</u>
PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>5800</u>
PORCENTAJE DE ERROR	<u>1.90%</u>

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	815	13.583	26.750
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	435	7.250	19.500
1"	25.4	300	5.000	95.000	40	0.42	280	4.667	14.833
3/4"	19.05	955	15.917	79.083	60	0.25	145	2.417	12.417
1/2"	12.7	950	15.833	63.250	100	0.149	105	1.750	10.667
3/8"	9.52	605	10.083	53.167	200	0.074	90	1.500	9.167
No. 4	4.75	770	12.833	40.333	PASA 200	*****	240		
SUMA	*****	3580			SUMA	*****	2110		
					TOTAL		5690		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO B1. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 7 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	2970				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	2030				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	40.6%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B2. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 7 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material lavado en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3105				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1895				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	37.9%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B3. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 18 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material rehabilitación carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3129.3				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1870.7				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	37.4%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B4. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 29 de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material Lavado en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3167				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1833				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	36.7%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B5. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 23 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3110				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1890				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	37.8%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B6. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Máquina de los Ángeles del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Abril 29 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material Lavado en gasolina

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMANO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3265				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1735				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	34.7%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO B7. Ensayo de Abrasión de Agregados en la Maquina de los Ángeles del material tradicional de base granular.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: Julio de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tradicional de base granular
 MATERIAL: _____

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

TAMAÑO		PESO Y GRADACION DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	No. 4			2500				
No. 4	No. 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No. De esferas	12				
No. De revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr.)	5000				
Pb = muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No. 12 (Gr.)	3525				
Perdida de material (Gr.) (Pa - Pb)	1475				
% Desgaste = ((Pa - Pb)/Pa)*100	29.5%				
Especificación					

OBSERVACIONES:

VoBo:

ANEXO C1. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material tramo III de Metrolínea sin lavar en solvente.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

FECHA: Junio 26 de 2008

PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares

LOCALIZACION: Material tramo III metrolínea CANAVERAL

MATERIAL: _____

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	115.7	87.3	75.45	2.81	211.87
1"	3/4"	184.3	43.2	23.44	4.47	104.84
3/4"	1/2"	268	104.3	38.92	6.50	253.12
1/2"	3/8"	437.3	156.3	35.74	10.61	379.32
3/8"	1/4"	749.8	125.3	16.71	18.20	304.09
1/4"		2365.4				
SUMA=		4120.5	516.4	114.81	42.59	1041.38

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	115.7	92.3	79.78	2.81	224.00
1"	3/4"	184.3	55.7	30.22	4.47	135.18
3/4"	1/2"	268	117.5	43.84	6.50	285.16
1/2"	3/8"	437.3	167.8	38.37	10.61	407.23
3/8"	1/4"	749.8	113.2	15.10	18.20	274.72
1/4"		2365.4				
SUMA=		4120.5	546.5	127.53	42.59	1102.29

INDICE DE ALARGAMIENTO 24.45 %

INDICE DE APLANAMIENTO 25.9 %

ANEXO C2. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material carrera 27 entre calles 40 - 41 sin lavar en solvente.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

FECHA: Junio 26 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material rehabilitación carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: _____

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	515	0		10.29	
1"	3/4"	330	73.6	22.30	6.59	147.05
3/4"	1/2"	655	92.92	14.19	13.09	185.65
1/2"	3/8"	525	37.4	7.12	10.49	74.73
3/8"	1/4"	440	11.01	2.50	8.79	22.00
1/4"		2540				
SUMA=		5005	214.93	46.12	49.25	429.43

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	515	251.79	48.89	10.29	503.08
1"	3/4"	330	199.23	60.37	6.59	398.06
3/4"	1/2"	655	279.09	42.61	13.09	557.62
1/2"	3/8"	525	137.3	26.15	10.49	274.33
3/8"	1/4"	440	47.36	10.76	8.79	94.63
1/4"		2540				
SUMA=		5005	914.77	139.90	49.25	1324.64

INDICE DE ALARGAMIENTO 8.72 %
 INDICE DE APLANAMIENTO 26.9 %

ANEXO C3. Ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento material autopista Vía Bucaramanga - Piedecuesta sin lavar en solvente.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

FECHA: Junio 26 de 2008

PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares

LOCALIZACION: Material Vía Piedecuesta

MATERIAL: _____

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	74.4			1.42	
1"	3/4"	100.7			1.93	
3/4"	1/2"	302.9	72.5	23.94	5.79	138.63
1/2"	3/8"	404.7	14.7	3.63	7.74	28.11
3/8"	1/4"	871.5	16.89	1.94	16.66	32.30
1/4"		3475.4				
SUMA=		5229.6	104.09	29.51	33.54	199.04

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMANO DE TAMICES		Peso de la muestra (gr)	Peso material retenido en calibrador (gr)	% retenido en el calibrador	% retenido gradacion original	% retenido en el calibrador * % retenido gradacion original
Pasante	Retenido					
1 1/2"	1"	74.4			1.42	
1"	3/4"	100.7			1.93	
3/4"	1/2"	302.9	154.89	51.14	5.79	296.18
1/2"	3/8"	404.7	106.15	26.23	7.74	202.98
3/8"	1/4"	871.5	47.38	5.44	16.66	90.60
1/4"		3475.4				
SUMA=		5229.6	308.42	82.80	33.54	589.76

INDICE DE ALARGAMIENTO 5.93 %

INDICE DE APLANAMIENTO 17.6 %

ANEXO D1. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

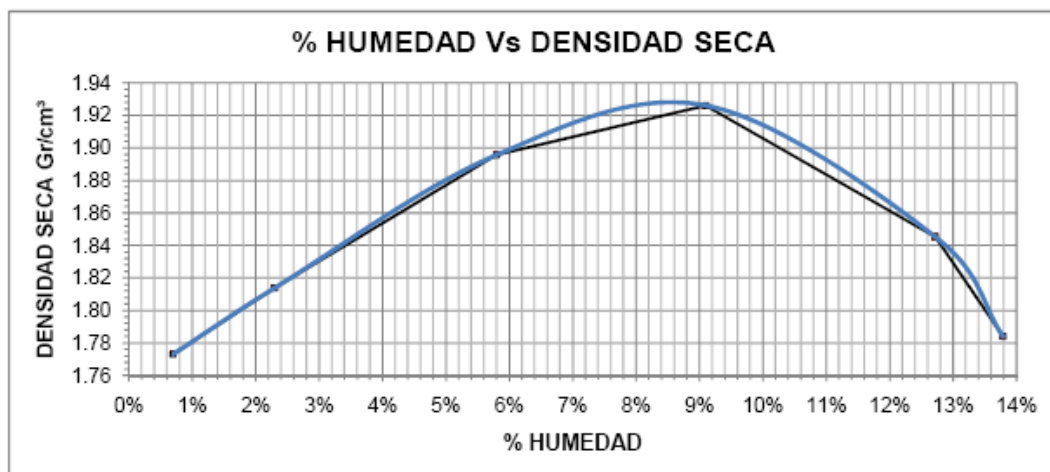


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Abril 11 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

Prueba No.	1	2	3	4	5	6
No. De golpes	55	55	55	55	55	55
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra húmeda Grs.	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15	15	15
Peso muestra húmeda + molde Grs.	10265	10415	10745	10970	10960	10865
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490	6490	6490
Peso muestra húmeda Grs.	3775	3925	4255	4480	4470	4375
% Humedad horno	0.70%	2.30%	5.80%	9.10%	12.72%	13.79%
Peso muestra seca Grs.	3748.58	3834.73	4008.21	4072.32	3901.42	3771.69
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32
Densidad muestra seca Grs./cm ³	1.7729	1.8137	1.8957	1.9261	1.8452	1.7839
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO D2. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.

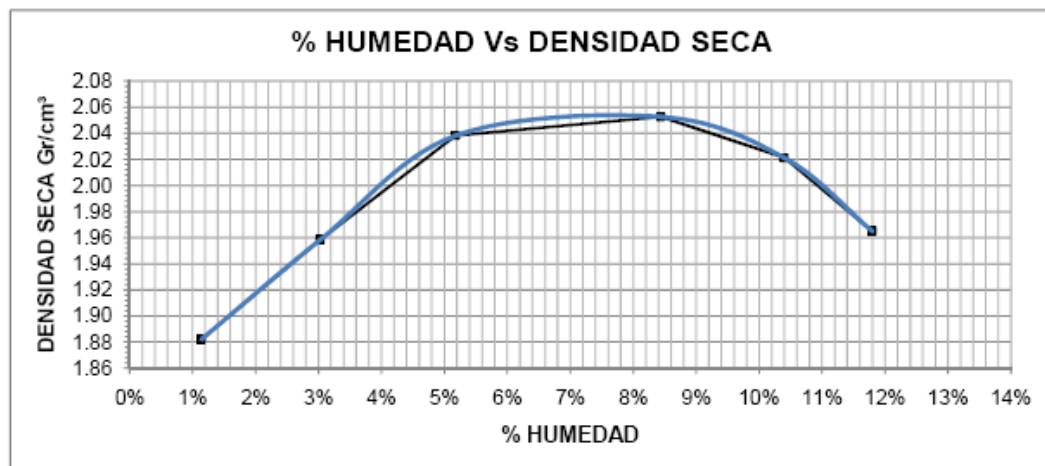


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO - DEL MATERIAL

FECHA: Abril 17 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material lavado en gasolina

Prueba No.	1	2	3	4	5	6
No. De golpes	55	55	55	55	55	55
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra húmeda Grs.	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15	15	15
Peso muestra húmeda + molde Grs.	10515	10760	11035	11230	11260	11200
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490	6490	6490
Peso muestra húmeda Grs.	4025	4270	4545	4740	4770	4710
% Humedad horno	1.14%	3.03%	5.18%	8.44%	10.40%	11.80%
Peso muestra seca Grs.	3979.12	4140.62	4309.57	4339.94	4273.92	4154.22
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32
Densidad muestra seca Grs./cm ³	1.8820	1.9584	2.0383	2.0526	2.0214	1.9648
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO D3. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

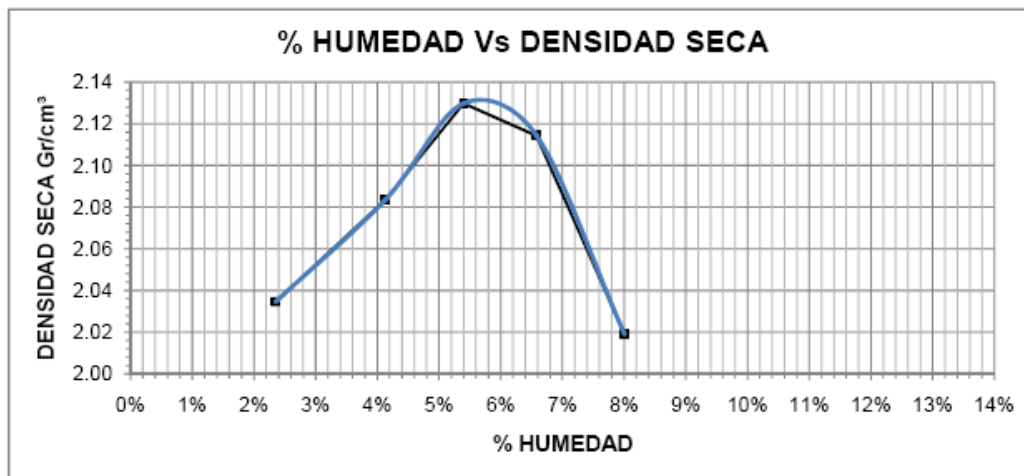


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Abril 21 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

Prueba No.	1	2	3	4	5
No. De golpes	55	55	55	55	55
Humedad deseada %					
Humedad natural de la muestra					
Humedad adicional %					
Peso de la muestra húmeda Grs.	5500	5500	5500	5500	5500
Peso de la muestra seca Grs.					
Agua adicional cm ³					
Molde No.	15	15	15	15	15
Peso muestra húmeda + molde Grs.	10895	11085	11250	11275	11130
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490	6490
Peso muestra húmeda Grs.	4405	4595	4760	4785	4640
% Humedad horno	2.35%	4.13%	5.40%	6.58%	8.01%
Peso muestra seca Grs.	4301.48	4405.23	4502.96	4470.15	4268.34
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32
Densidad muestra seca Grs./cm ³	2.0345	2.0835	2.1297	2.1142	2.0188
Expansión 1er. Día					
Expansión 2do. Día					
Expansión 3er. Día					
Expansión 4to. Día					
Expansión total					



ANEXO D4. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.

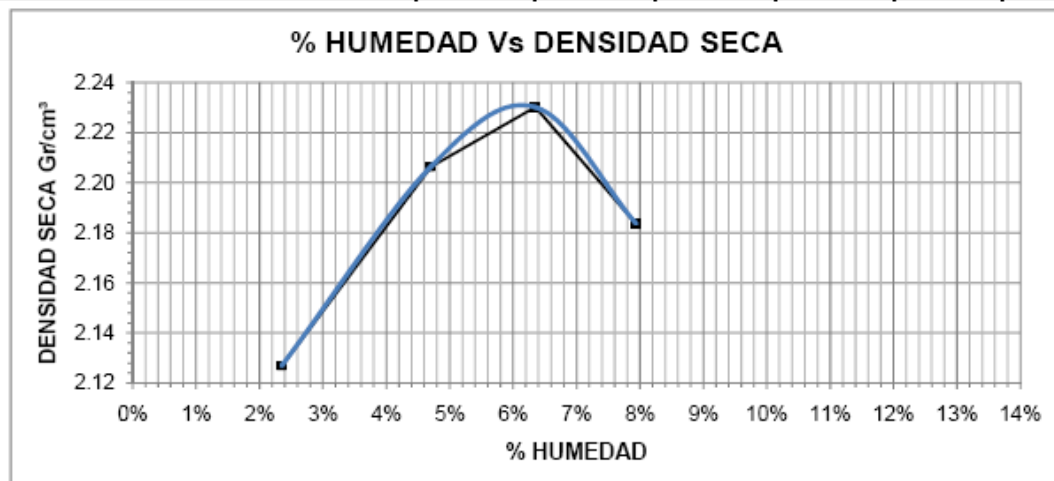


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Abril 29 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material Lavado en Gasolina

Prueba No.	1	2	3	4		
No. De golpes	55	55	55	55		
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra húmeda Grs.	5500	5500	5500	5500		
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15		
Peso muestra húmeda + molde Grs.	11095	11385	11525	11505		
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490		
Peso muestra húmeda Grs.	4605	4895	5035	5015		
% Humedad homo	2.35%	4.70%	6.35%	7.94%		
Peso muestra seca Grs.	4496.78	4664.94	4715.28	4616.81		
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32		
Densidad muestra seca Grs./cm ³	2.1268	2.2064	2.2302	2.1836		
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO D5. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

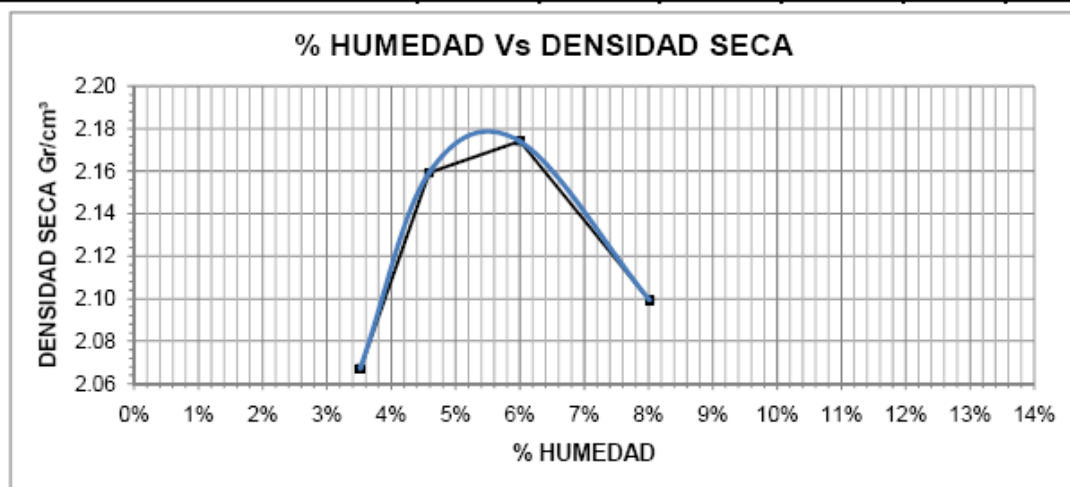


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Abril 23 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina

Prueba No.	1	2	3	4		
No. De golpes	55	55	55	55		
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra húmeda Grs.	5500	5500	5500	5500		
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15		
Peso muestra húmeda + molde Grs.	11020	11275	11380	11315		
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490		
Peso muestra húmeda Grs.	4530	4785	4890	4825		
% Humedad horno	3.52%	4.59%	6.00%	8.02%		
Peso muestra seca Grs.	4370.54	4565.37	4596.60	4438.04		
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32		
Densidad muestra seca Grs./cm ³	2.0671	2.1593	2.1740	2.0990		
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO D6. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.

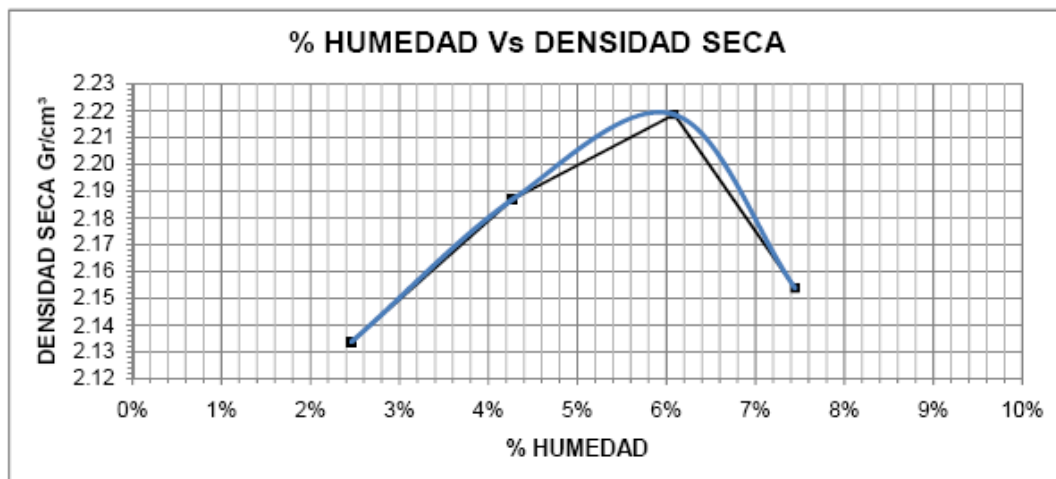


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Abril 29 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material Lavado en Gasolina

Prueba No.	1	2	3	4		
No. De golpes	55	55	55	55		
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra humeda Grs.	5500	5500	5500	5500		
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15		
Peso muestra humeda + molde Grs.	11115	11320	11485	11410		
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490		
Peso muestra humeda Grs.	4625	4830	4995	4920		
% Humedad horno	2.46%	4.27%	6.09%	7.45%		
Peso muestra seca Grs.	4511.23	4623.76	4690.80	4553.46		
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32		
Densidad muestra seca Grs./cm ³	2.1337	2.1869	2.2186	2.1536		
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO D7. Ensayo de Relación de peso unitario – Humedad en los suelos Proctor Modificado del material tradicional de base granular.

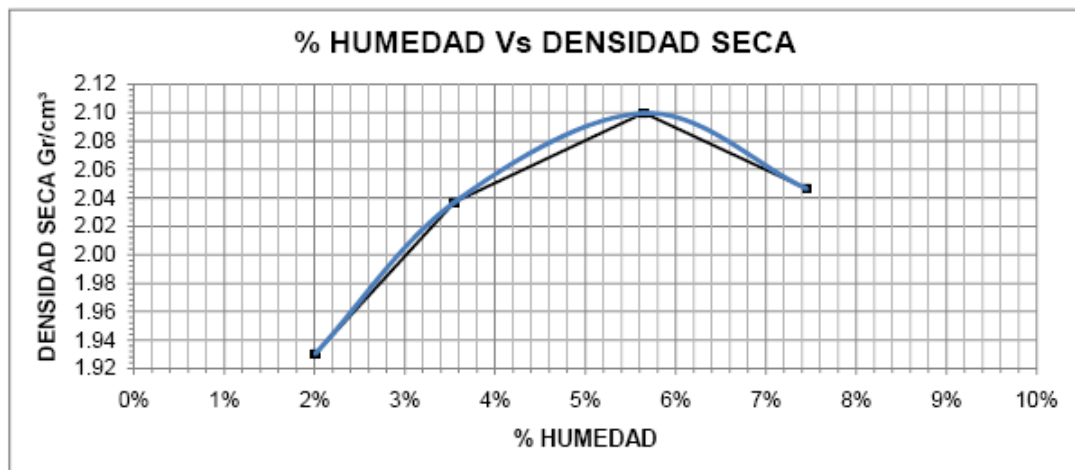


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO -

FECHA: Julio de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tradicional de base granular
 MATERIAL: _____

Prueba No.	1	2	3	3		
No. De golpes	55	55	55	55		
Humedad deseada %						
Humedad natural de la muestra						
Humedad adicional %						
Peso de la muestra húmeda Grs.	5500	5500	5500	5500		
Peso de la muestra seca Grs.						
Agua adicional cm ³						
Molde No.	15	15	15	15		
Peso muestra húmeda + molde Grs.	10655	10955	11195	11165		
Peso molde Grs.	6490	6490	6490	6490		
Peso muestra húmeda Grs.	4165	4465	4705	4675		
% Humedad horno	2.01%	3.55%	5.65%	7.45%		
Peso muestra seca Grs.	4081.28	4306.49	4439.17	4326.71		
Volumen del Molde cm ³	2114.32	2114.32	2114.32	2114.32		
Densidad muestra seca Grs./cm ³	1.9303	2.0368	2.0996	2.0464		
Expansión 1er. Día						
Expansión 2do. Día						
Expansión 3er. Día						
Expansión 4to. Día						
Expansión total						



ANEXO E1. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL, sometido a compactación sencilla.



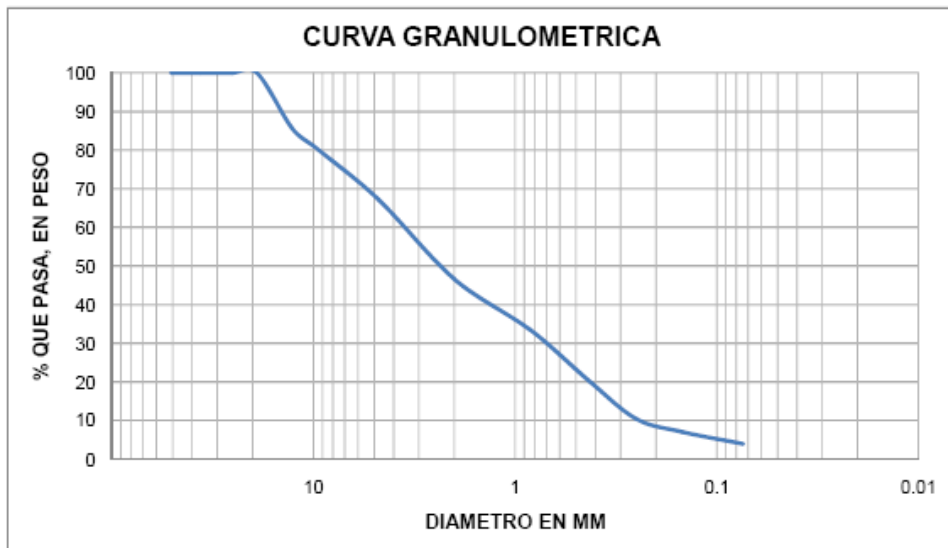
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 11 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y compactado a proctor modificado

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	5260
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4970
TARA + MUESTRA SECA (Gr)			
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)		PORCENTAJE DE ERROR	0.22%

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	1082.4	20.578	46.652
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	689.4	13.106	33.546
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	718.5	13.660	19.886
3/4"	19.05	0	0.000	100.000	60	0.25	493.8	9.388	10.498
1/2"	12.7	756.8	14.388	85.612	100	0.149	175.9	3.344	7.154
3/8"	9.52	281.3	5.348	80.264	200	0.074	167.1	3.177	3.977
No. 4	4.75	685.6	13.034	67.230	PASA 200	*****	197.5		
SUMA	*****	1723.7			SUMA	*****	3524.6		
					TOTAL		5248.3		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO E2. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado lavado en solvente del material de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL, sometido a compactación sencilla.



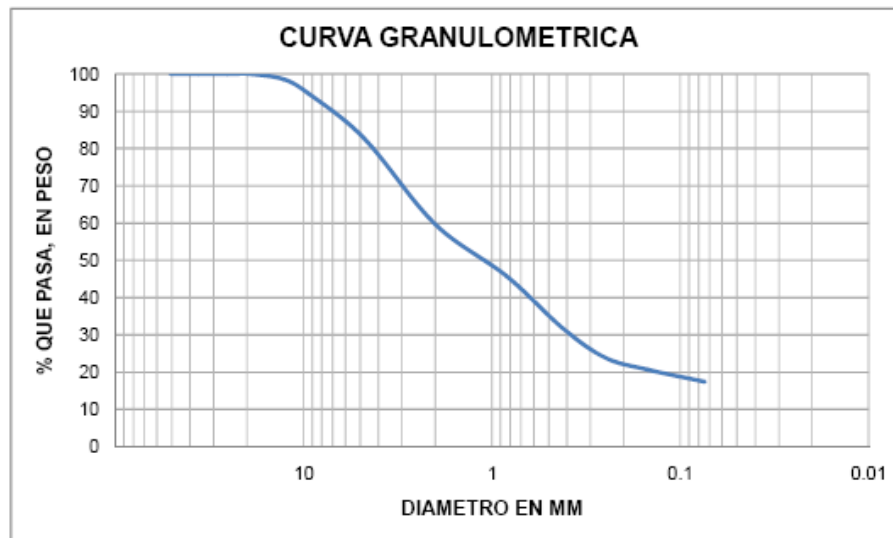
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 16 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL
 MATERIAL: Material se lavó en gasolina y se compacto a proctor modificado

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	<u>5075</u>
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	<u>4824.68</u>
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	<u>6.03%</u>
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	1165.2	22.960	59.700
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	703.5	13.862	45.838
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	716.4	14.116	31.722
3/4"	19.05	0	0.000	100.000	60	0.25	400.5	7.892	23.831
1/2"	12.7	72.5	1.429	98.571	100	0.149	162.9	3.210	20.621
3/8"	9.52	184	3.626	94.946	200	0.074	166.3	3.277	17.344
No. 4	4.75	623.5	12.286	82.660	PASA 200	*****	339.14		
SUMA	*****	880			SUMA	*****	3653.94		
					TOTAL		4533.94		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO E3. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41, sometido a compactación sencilla.



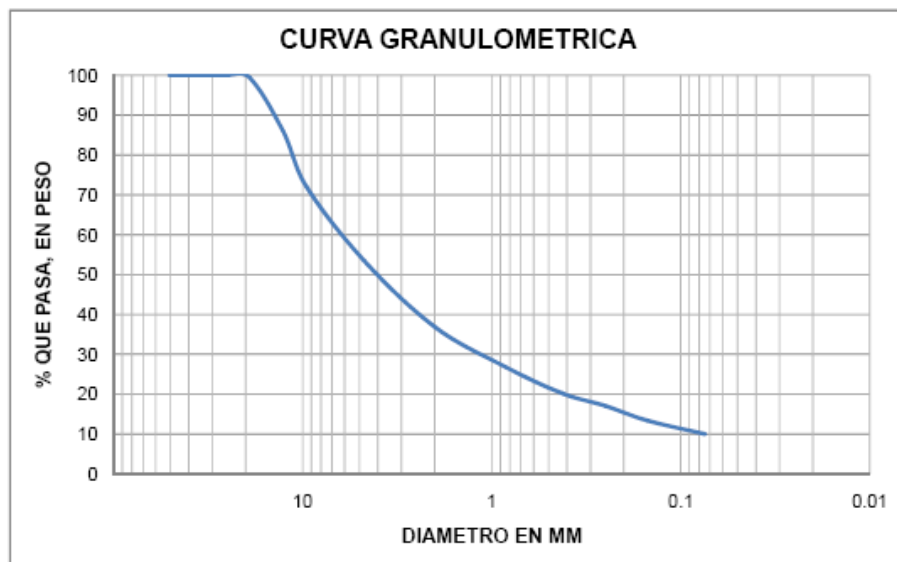
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 22 de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material rehabilitación carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y sin compactar

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	4668.7
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4668.7
TARA + MUESTRA SECA (Gr)			
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	8.89%
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	777.8	16.660	36.907
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	470.9	10.086	26.821
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	308.5	6.608	20.213
3/4"	19.05	30	0.643	99.357	60	0.25	145	3.106	17.108
1/2"	12.7	619.4	13.267	86.090	100	0.149	174.3	3.733	13.374
3/8"	9.52	659.2	14.120	71.971	200	0.074	156.5	3.352	10.022
No. 4	4.75	859.2	18.403	53.567	PASA 200	*****	52.69		
SUMA	*****	2167.8			SUMA	*****	2085.69		
					TOTAL		4253.49		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO E4. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41, sometido a compactación sencilla.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

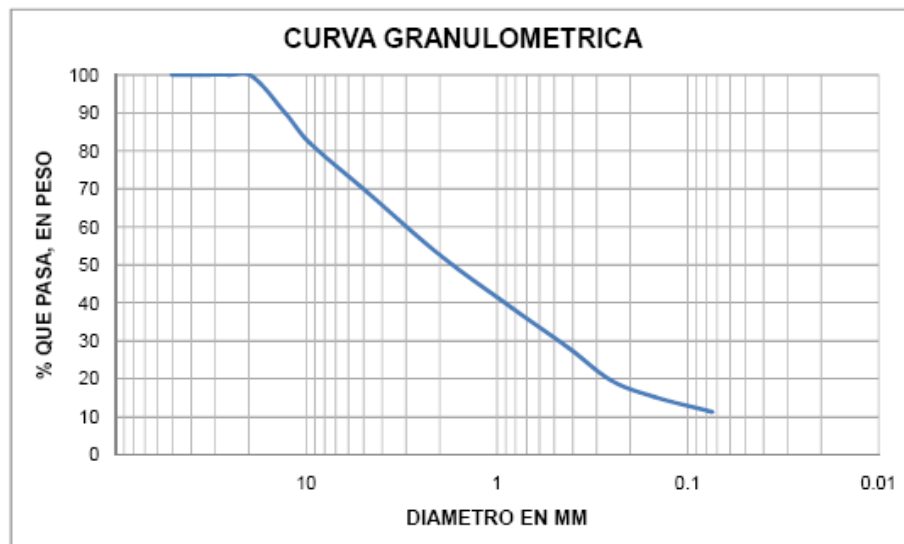
ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 30 de 2008
 PROYECTO: Análisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 MATERIAL: Material lavado en gasolina y compactado

PESO TARA (Gr)	
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)	
TARA + MUESTRA SECA (Gr)	
PESO AGUA (Gr)	
PESO MUESTRA SECA (Gr)	
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	4890
PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4350
PORCENTAJE DE ERROR	0.05%

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	794.5	16.247	52.728
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	679.3	13.892	38.836
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	523.8	10.712	28.125
3/4"	19.05	25.8	0.528	99.472	60	0.25	418.9	8.566	19.558
1/2"	12.7	478.6	9.787	89.685	100	0.149	210.3	4.301	15.258
3/8"	9.52	377.5	7.720	81.965	200	0.074	194.7	3.982	11.276
No. 4	4.75	635.2	12.990	68.975	PASA 200	*****	548.9		
SUMA	*****	1517.1			SUMA	*****	3370.4		
					TOTAL		4887.5		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO E5. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de Vía Piedecuesta, sometido a compactación sencilla.



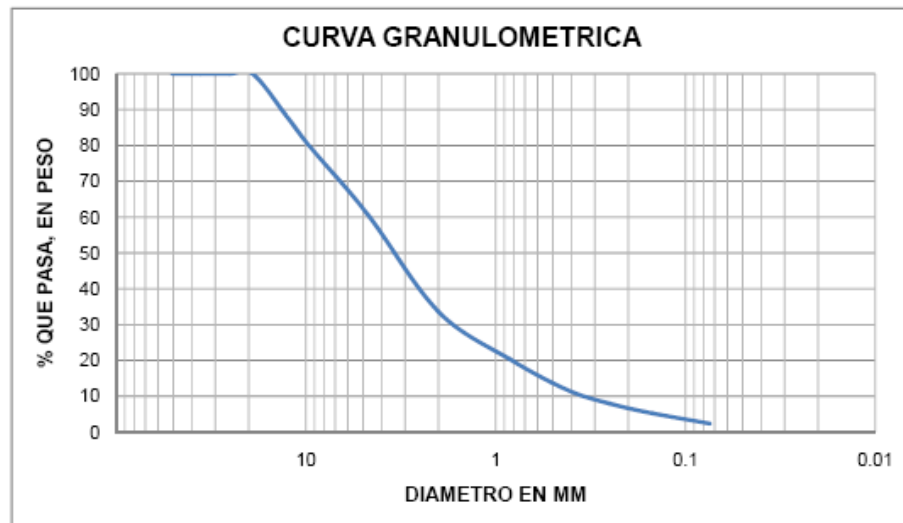
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 24 de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material sin lavar en gasolina y compactado

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	5031.34
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	5031.34
TARA + MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	0.68%
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)			
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	1374.5	27.319	33.616
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	669.3	13.303	20.313
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	430.5	8.556	11.757
3/4"	19.05	0	0.000	100.000	60	0.25	193.1	3.838	7.919
1/2"	12.7	584.6	11.619	88.381	100	0.149	135.3	2.689	5.230
3/8"	9.52	438.7	8.719	79.661	200	0.074	146.5	2.912	2.318
No. 4	4.75	942.2	18.727	60.935	PASA 200	*****	82.6		
SUMA	*****	1965.5			SUMA	*****	3031.8		
					TOTAL		4997.3		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO E6. Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta, sometido a compactación sencilla.



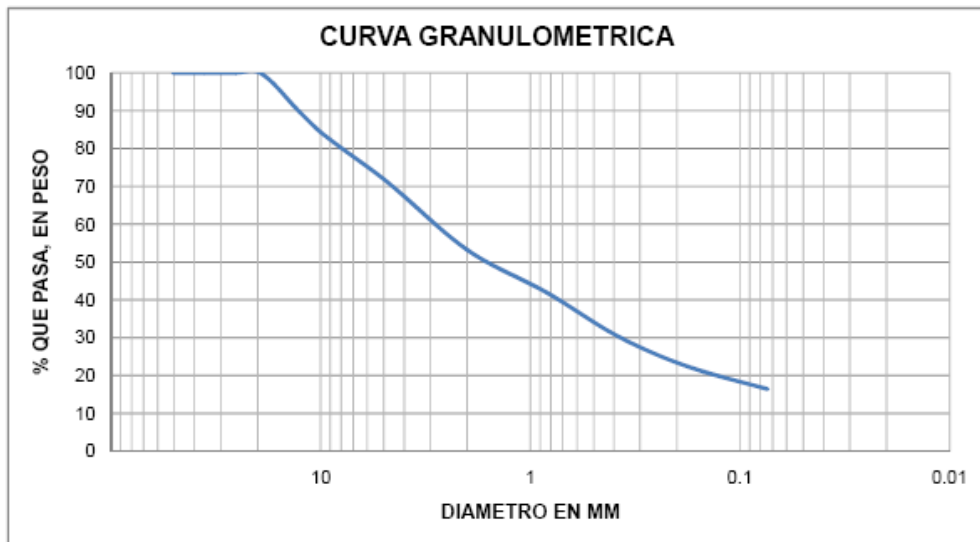
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

FECHA: Abril 30 de 2008
 PROYECTO: Analisis de características de asfalto fresado de capas existentes para su uso como bases granulares
 LOCALIZACION: Material Piedecuesta
 MATERIAL: Material lavado en gasolina y compactado

PESO TARA (Gr)		PESO INICIAL DE LA MUESTRA Gr	5045
TARA + MUESTRA HUMEDA (Gr)		PESO DESPUES DE LAVADO Gr	4225
TARA + MUESTRA SECA (Gr)			
PESO AGUA (Gr)			
PESO MUESTRA SECA (Gr)		PORCENTAJE DE ERROR	0.04%
HUMEDAD (%)			

MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No.	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
*****	mm	gr	%	%	*****	mm	gr	%	%
2"	50.8	0	0.000	100.000	10	2	894.2	17.724	53.122
1 1/2"	36.1	0	0.000	100.000	20	0.84	563.5	11.169	41.952
1"	25.4	0	0.000	100.000	40	0.42	522.6	10.359	31.593
3/4"	19.05	19.01	0.377	99.623	60	0.25	308	6.105	25.488
1/2"	12.7	496.9	9.849	89.774	100	0.149	227.2	4.503	20.985
3/8"	9.52	325.7	6.456	83.318	200	0.074	232.6	4.611	16.374
No. 4	4.75	629.2	12.472	70.846	PASA 200	*****	823.9		
SUMA	*****	1470.81			SUMA	*****	3572		
					TOTAL		5042.81		



CLASIFICACION SUCS: _____
 OBSERVACIONES: _____

ANEXO F1. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL - Sin lavar en gasolina -
 FECHA: Abril 17 de 2008

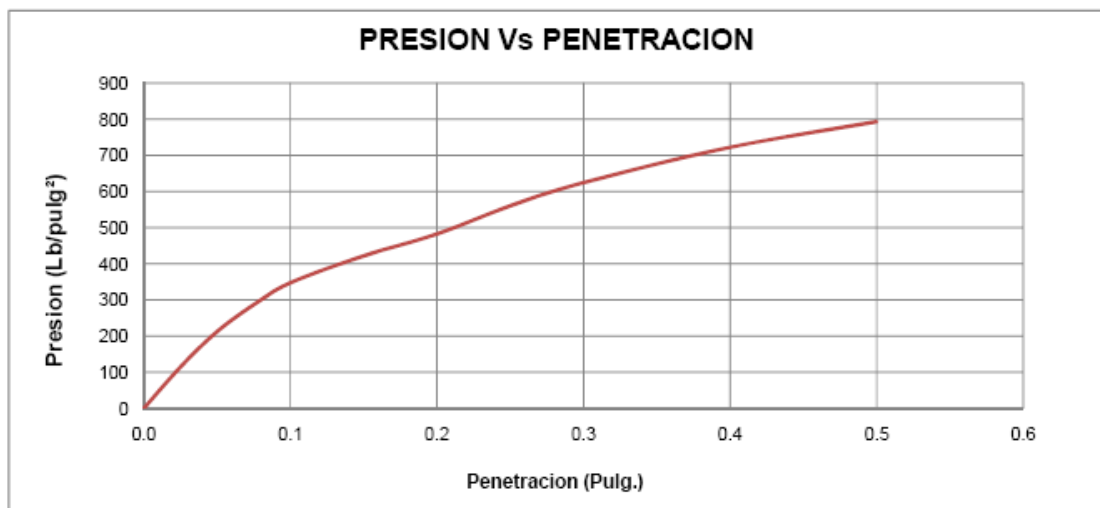
MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
DIMENSIONES	
ALTURA (cm)	12.6
DIAMETRO (cm)	15.3
PESO MOLDE + MUESTRA COMPACTADO	11410
Peso seco (gr)	4231.5

HUMEDAD NATURAL	
PESO HUMEDO (Gr.)	86.5
PESO SECO (Gr.)	84.68
% HUMEDAD	2.10%
HUMEDAD DE COMPACTACION	
PESO HUMEDO (Gr.)	69.2
PESO SECO (Gr.)	63.45
% HUMEDAD	8.31%

HUMEDAD PENETRACION	
PESO HUMEDO (Gr.)	112.54
PESO SECO (Gr.)	103
% HUMEDAD	8.48%

Area piston (pulg ²)	3
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.8266

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	34	344.25	114.75			
0.0500	63	637.875	212.63			
0.0750	85	860.625	286.88			
0.1000	103	1042.875	347.63			
0.1500	125	1265.625	421.88			
0.2000	143	1447.875	482.63			
0.2500	166	1680.75	560.25			
0.3000	185	1873.125	624.38			
0.4000	214	2166.75	722.25			
0.5000	235	2379.375	793.13			
CBR A 0.1"	34.763					
CBR A 0.2"	32.175					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F2. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Tramo III de Metrolínea, CAÑAVERAL.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

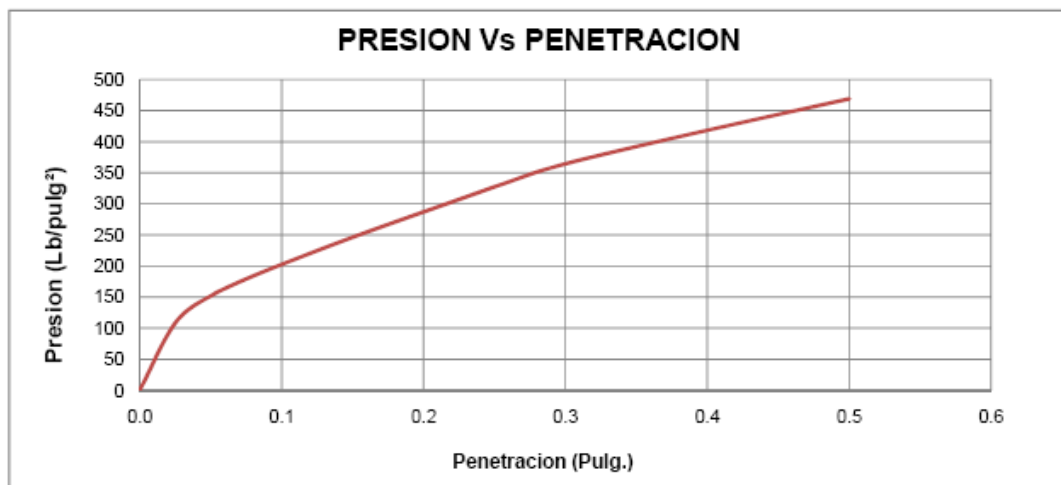
OBRA: Material tramo III Metrolínea CAÑAVERAL - Lavado en gasolina-
 FECHA: Abril 18 de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
DIMENSIONES	
ALTURA (cm)	12.6
DIAMETRO (cm)	15.3
PESO MOLDE + MUESTRA COMPACTADO	11455
Peso seco (gr)	4328.3

HUMEDAD NATURAL	
PESO HUMEDO (Gr.)	70.34
PESO SECO (Gr.)	69.51
% HUMEDAD	1.18%
HUMEDAD DE COMPACTACION	
PESO HUMEDO (Gr.)	87.1
PESO SECO (Gr.)	80.9
% HUMEDAD	7.12%

HUMEDAD PENETRACION	
PESO HUMEDO (Gr.)	69.89
PESO SECO (Gr.)	64.25
% HUMEDAD	8.07%
Area piston (pulg²)	
Area piston (pulg ²)	3
DENSIDAD (gr/cm³)	
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.86641

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	32	324	108.00			
0.0500	45	455.625	151.88			
0.0750	53	536.625	178.88			
0.1000	60	607.5	202.50			
0.1500	73	739.125	246.38			
0.2000	85	860.625	286.88			
0.2500	97	982.125	327.38			
0.3000	108	1093.5	364.50			
0.4000	124	1255.5	418.50			
0.5000	139	1407.375	469.13			
CBR A 0.1"	20.250					
CBR A 0.2"	19.125					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F3. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41
 FECHA: Abril 23 de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
DIMENSIONES	
ALTURA (cm)	12.6
DIAMETRO (cm)	15.3
PESO MOLDE + MUESTRA COMPACTADO	11780
Peso seco (gr.)	4721.3

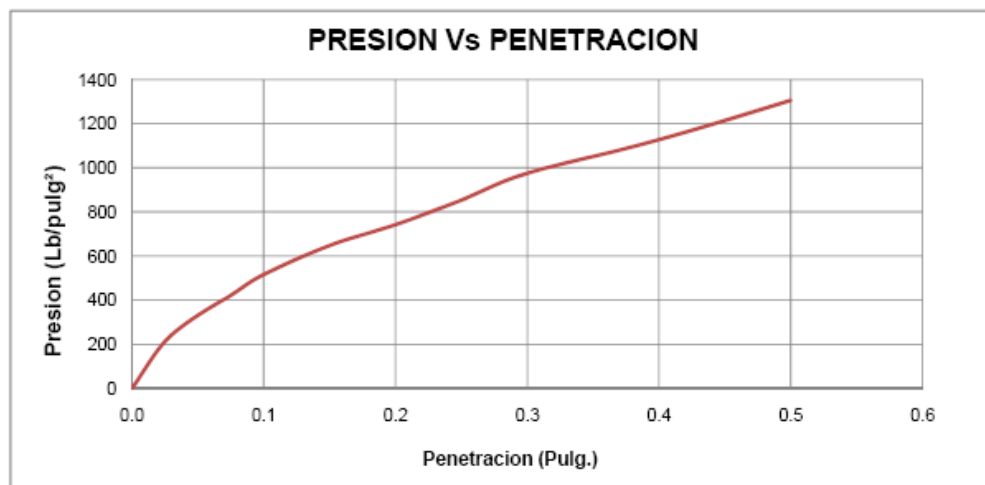
HUMEDAD NATURAL	
% HUMEDAD	0.92%
HUMEDAD DE COMPACTACION	
% HUMEDAD	5.29%

HUMEDAD PENETRACION	
% HUMEDAD	6.63%

Area piston (pulg ²)	3
----------------------------------	---

DENSIDAD (gr/cm ³)	2.0381
--------------------------------	--------

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	63	637.875	212.63			
0.0500	96	992.25	330.75			
0.0750	125	1265.625	421.88			
0.1000	153	1549.125	516.38			
0.1500	192	1944	648.00			
0.2000	220	2227.5	742.50			
0.2500	253	2561.625	853.88			
0.3000	289	2926.125	975.38			
0.4000	334	3381.75	1127.25			
0.5000	387	3918.375	1306.13			
CBR A 0.1"	51.638					
CBR A 0.2"	49.500					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F4. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Rehabilitación Carrera 27 entre calles 40 – 41.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material Carrera 27 entre calles 40 y 41

FECHA: Abril 30 de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
DIMENSIONES	
ALTURA (cm)	12.8
DIAMETRO (cm)	15.3
MUESTRA COMPACTADO (Gr.)	12125
Peso seco (gr.)	5013.9

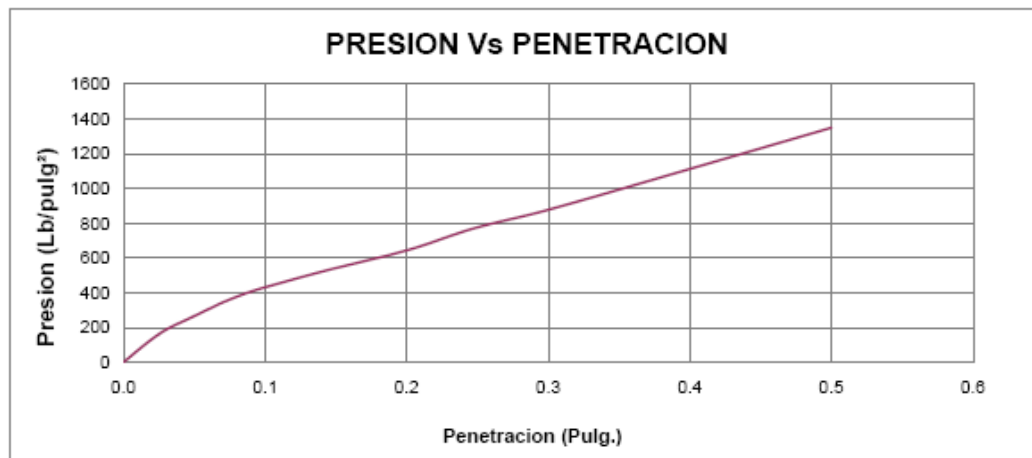
HUMEDAD NATURAL	
% HUMEDAD	1.20%
HUMEDAD DE COMPACTACION	
% HUMEDAD	5.93%

HUMEDAD PENETRACION	
% HUMEDAD	6.43%

Area piston (pulg ²)	3
----------------------------------	---

DENSIDAD (gr/cm ³)	2.16438
--------------------------------	---------

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	48	488	162.00			
0.0500	79	799.875	266.63			
0.0750	107	1083.375	361.13			
0.1000	128	1296	432.00			
0.1500	161	1630.125	543.38			
0.2000	191	1933.875	644.63			
0.2500	230	2328.75	776.25			
0.3000	260	2632.5	877.50			
0.4000	330	3341.25	1113.75			
0.5000	400	4050	1350.00			
CBR A 0.1"	43.200					
CBR A 0.2"	42.975					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F5. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material sin lavar en solvente de Vía Piedecuesta.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material Piedecuesta

FECHA: Abril 25 de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
<i>DIMENSIONES</i>	
ALTURA (cm)	12.6
DIAMETRO (cm)	15.3
PESO MOLDE + MUESTRA COMPACTADO	11750
Peso (gr)	4685.9

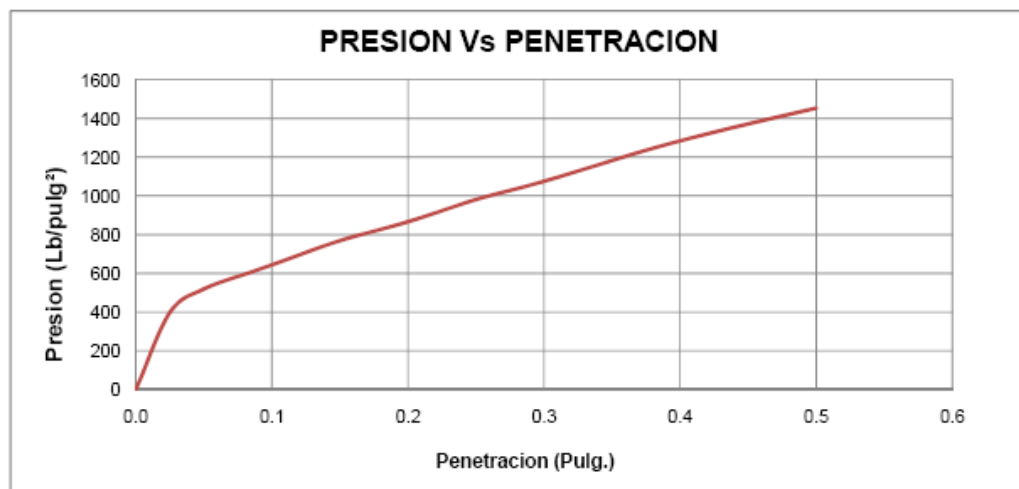
<i>HUMEDAD NATURAL</i>	
% HUMEDAD	2.40%
<i>HUMEDAD DE COMPACTACION</i>	
% HUMEDAD	5.43%

<i>HUMEDAD PENETRACION</i>	
% HUMEDAD	6.48%

Area piston (pulg ²)	3
----------------------------------	---

DENSIDAD (gr/cm ³)	2.0228
--------------------------------	--------

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	118	1194.75	398.25			
0.0500	154	1559.25	519.75			
0.0750	173	1751.625	583.88			
0.1000	191	1933.875	644.63			
0.1500	228	2308.5	769.50			
0.2000	257	2602.125	867.38			
0.2500	291	2946.375	982.13			
0.3000	319	3229.875	1076.63			
0.4000	361	3857.625	1285.88			
0.5000	431	4363.875	1454.63			
CBR A 0.1"	64.463					
CBR A 0.2"	57.825					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F6. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material lavado en solvente de Vía Piedecuesta.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material Piedecuesta

FECHA: Abril 30 de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6796
DIMENSIONES	
ALTURA (cm)	12.8
DIAMETRO (cm)	15.3
MUESTRA COMPACTADO (Gr.)	12095
Peso seco (gr.)	5004.8

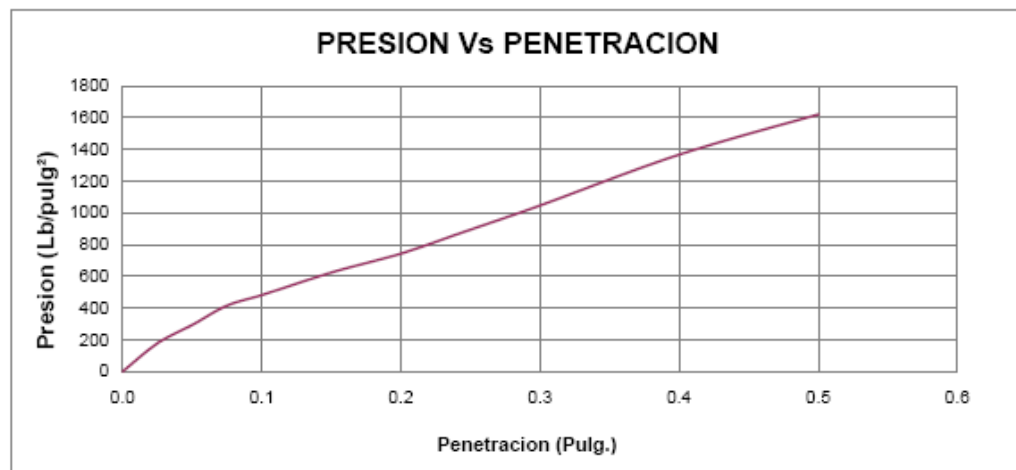
HUMEDAD NATURAL	
% HUMEDAD	0.90%
HUMEDAD DE COMPACTACION	
% HUMEDAD	5.57%

HUMEDAD PENETRACION	
% HUMEDAD	6.38%

Area piston (pulg ²)	3
----------------------------------	---

DENSIDAD (gr/cm ³)	2.16044
--------------------------------	---------

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	53	536.625	178.88			
0.0500	87	880.875	293.83			
0.0750	123	1245.375	415.13			
0.1000	143	1447.875	482.83			
0.1500	185	1873.125	624.38			
0.2000	220	2227.5	742.50			
0.2500	265	2683.125	894.38			
0.3000	310	3138.75	1046.25			
0.4000	405	4100.625	1366.88			
0.5000	480	4860	1620.00			
CBR A 0.1"	48.263					
CBR A 0.2"	47.700					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						



ANEXO F7. Ensayo de Relación de soporte del suelo en el laboratorio del material tradicional de base granular.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTO

ENSAYO RELACION DE SOPORTE DE SUELO EN LABORATORIO DE CBR

OBRA: Material tradicional de base granular
 FECHA: Julio de 2008

MUESTRA (Gr.)	5500
PESO MOLDE (Gr.)	6795
<i>DIMENSIONES</i>	
ALTURA (cm)	12.6
DIAMETRO (cm)	15.3
PESO MOLDE + MUESTRA	11855
Peso seco (gr.)	4779.2

<i>HUMEDAD NATURAL</i>	
% HUMEDAD	0.97%
<i>HUMEDAD DE COMPACTACION</i>	
% HUMEDAD	5.55%

<i>HUMEDAD PENETRACION</i>	
% HUMEDAD	6.75%

Area piston (pulg ²)	3
----------------------------------	---

DENSIDAD (gr/cm ³)	2.06
--------------------------------	------

MOLDE No.						
No. DE GOLPES	55					
DIAS DE INMERSION	1					
PENETRACION PLG.	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)	LEC.	CARGA (Lb)	PRESION (Lb/pulg ²)
0.0	0	0	0			
0.0250	69	698.625	232.88			
0.0500	130	1316.25	438.75			
0.0750	176	1782	594.00			
0.1000	217	2197.125	732.38			
0.1500	286	2895.75	965.25			
0.2000	325	3290.625	1096.88			
0.2500	355	3594.375	1198.13			
0.3000	376	3807	1269.00			
0.4000	415	4201.875	1400.63			
0.5000	435	4404.375	1468.13			
CBR A 0.1"	73.238					
CBR A 0.2"	73.125					
CBR CORREGIDO 0.1"						
CBR CORREGIDO 0.2"						

