



**CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PRODUCTO DEL RECICLAJE DE
PAVIMENTOS CON LA ADICIÓN DE CEMENTO Y BITUMEN EN PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ.**

ING. JUAN DAVID MOSQUERA VALENCIA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
POSGRADO EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ DC
2016**

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PRODUCTO DEL RECICLAJE DE PAVIMENTOS CON LA ADICIÓN DE CEMENTO Y BITUMEN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE BOGOTA.

CHARACTERIZATION OF THE MATERIALS PRODUCT OF THE RECYCLING OF PAVEMENTS WITH THE ADDITION OF CEMENT AND BITUMEN IN FLEXIBLE PAVEMENTS IN BOGOTA CITY.

Juan David Mosquera Valencia

Ingeniero Civil

Bogotá, Colombia

RESUMEN

Este documento expone la idoneidad para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la caracterización de los materiales producto del reciclaje de pavimentos con adición de cemento y bitumen, determinando su composición mineralógica que en buena medida determina a su vez sus características físico- mecánicas y la manera de comportarse como materiales para una capa de pavimento y a su vez los beneficios del análisis de las diferentes condiciones de su uso, teniendo en cuenta los diferentes tipos de métodos de reciclaje que existen para pavimentos flexibles. En la búsqueda de darle solución y buen uso a estos materiales se hace necesario evaluar las alternativas del uso de materiales producto del reciclaje de pavimentos flexibles en vías locales en Bogotá y así poder contar con otras alternativas para el mejoramiento y rehabilitación de vías y darle funcionalidad a una carretera específica.

PALABRAS CLAVE: PAVIMENTOS FLEXIBLES, RECICLAJE DE PAVIMENTOS, Bitumen, Cemento.

ABSTRACT

This document presents the suitability for the structural design of flexible pavements with the characterization of the materials product of the recycling of pavements with the addition of cement and the bitumen, determining its mineralogical composition that to a large extent determines its mechanical and physical characteristics its way of behavior as

materials for a pavement layer and the benefits of the analysis of different conditions of use, taking into account the different types of recycling methods that exist for flexible pavements. In the search to give solution and good use of these materials it is necessary to evaluate the alternatives of use of materials of products of recycling of flexible pavements and local roads in Bogota and thus to be able to count on other alternatives for the improvement and rehabilitation of roads and to give functionality to specific road.

KEYWORDS: Flexible Pavements, Roads recycling, Bitumen, Cement.

1. INTRODUCCION

El presente estudio del uso de materiales producto del reciclaje de pavimentos con adiciones de cemento y bitumen en el pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de factores meteorológicos. Estos factores, junto con el envejecimiento natural que sufren los materiales hacen que este a su vez tenga un proceso progresivo de deterioro. Este envejecimiento y deterioro del pavimento conlleva a una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos límites hacen muy necesaria una operación de conservación, mantenimiento y/o rehabilitación del mismo.

Con este parámetro, el uso de materiales producto del reciclaje de pavimentos en la construcción de vías, como medio de racionalizar los recursos, toma un gran protagonismo y se convierte en una necesidad. Por esta razón se ha investigado sobre técnicas de mantenimiento de vías, que reduzca los costos de una reconstrucción, de mano de obra y equipo a usar, lo que ha traído paulatinamente alternativas como la de extraer los materiales que conforman al pavimento y reutilizarlos, mezclándolos con otros productos dando origen así a lo que es el reciclaje.

En la búsqueda de darle solución y buen uso a estos materiales se hace necesario evaluar las alternativas del uso de materiales producto del reciclaje de pavimentos flexibles con adiciones de cemento y bitumen en vías locales en Bogotá y así poder

contar con otras alternativas para el mejoramiento y/o rehabilitación de vías determinadas en la ciudad.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Caracterizar los materiales producto del reciclaje de pavimentos flexibles con la adición de cemento y bitumen en la ciudad de Bogotá.

2.2 Objetivos Específicos

- Conocer y analizar las diferentes técnicas utilizadas para el reciclaje de pavimentos.
- Realizar ensayos de caracterización de los materiales como: granulometría, equivalente de arena, densidades, resistencia de mezclas bituminosas.
- Establecer la idoneidad para el diseño estructural con la caracterización de materiales producto del reciclado.
- Establecer la importancia ambiental en el uso de materiales producto del reciclaje en pavimentos.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del siguiente trabajo de investigación se pretende establecer por medio de la caracterización de materiales producto del reciclaje para pavimentos flexibles una idoneidad en el diseño de capas asfálticas y utilizando adiciones de cemento y bitumen, establecer cuál es el parámetro más apropiado y que ayude con el medio ambiente para el mejoramiento y/o rehabilitación de vías en la ciudad de Bogotá.

Esto por medio de realización de ensayos de caracterización de materiales y recopilación de información teórica de toda la bibliografía pertinente del uso de técnicas de reciclaje en el país.

Los ensayos de caracterización a desarrollar en este trabajo de investigación son los siguientes:

✓ **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO I.N.V. E - 123**

Este análisis granulométrico tiene por objetivo principal determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

“Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 75 μm (No.200).

EQUIPO A UTILIZAR:

- Dos Balanzas
- Tamices de malla cuadrada: 75 mm (3"), 50 mm (2"), 37.5 mm(1-1/2"), 25 mm (1"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No.4), 2.00 mm (No.10) 850 μm (No.20), 425 μm (No.40), 250 μm (No.60), 106 μm (No.140) y 75 μm (No.200).

- Horno
- Envases
- Cepillo y brocha.

✓ **DENSIDAD O MASA UNITARIA DEL SUELO EN EL TERRENO MÉTODO DEL CONO DE ARENA I.N.V. E – 161 – 07**

“Este método de ensayo se usa para determinar, en el sitio, la densidad o la masa unitaria de los suelos con el equipo de cono de arena.”

RESUMEN DEL MÉTODO

“Se excava manualmente un hueco en el suelo que se va a ensayar y todo el material del hueco se guarda en un recipiente. Se llena el hueco con arena de densidad conocida, la cual debe fluir libremente, y se determina el volumen. Se calcula la densidad del suelo húmedo, in situ, dividiendo la masa del material húmedo removido por el volumen del hueco. Se determina el contenido de humedad del material extraído del hueco y se calcula su masa seca y la densidad seca del suelo en el campo, usando la masa húmeda del suelo, la humedad y el volumen del hueco.”

EQUIPO A UTILIZAR:

- Aparato del cono de arena
- Un frasco
- Un dispositivo desarmable
- Una placa de base

- Arena
- Balanza
- Equipo para el secado
- Equipo misceláneo

✓ **EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS I.N.V. E –
133 – 07**

“Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo”

RESUMEN DEL MÉTODO

“A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena. Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.”

EQUIPO A UTILIZAR:

- Cilindro graduado de plástico
- Tapón macizo
- Tubo irrigador
- Tubo flexible
- Un botellón
- Recipiente metálico
- Embudo
- Reloj o cronómetro
- Un agitador
- Espátula
- Un horno secador
- Tela partidora
- Manija opcional para tubo de irrigación

✓ RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL I.N.V. E – 748 – 07

“Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1”)”

“El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4”) de diámetro y 63.5 mm (2½”) de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así

fabricadas, se determinarán previamente las gravedades específicas de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes.

El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de Densidad Vacíos de las probetas compactadas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los diferentes valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo".

EQUIPO A UTILIZAR:

- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de Probetas
- Martillo de Compactación
- Pedestal de Compactación
- Sujetador para el molde
- Mordazas y medidor de deformación
- Prensa
- Medidor de la estabilidad
- Elementos de calefacción
- Mezcladora
- Tanque para agua
- Tamices
- Termómetros blindados
- Balanzas
- Guantes

4. MARCO TEORICO

4.1 Estructura de un pavimento

Un pavimento flexible puede estar compuesto de las capas de subrasante, subbase, base, carpeta y tratamiento superficial. Esta estructura debe estar diseñada de tal manera que soporte las cargas de los vehículos que transitan en el momento que se hace el diseño y el incremento que se estime durante el período de vida proyectado.



Fuente: Gustavo Rivera, 2010

4.2 Rehabilitación

La rehabilitación de vías consiste en el proceso de mejoramiento que garantice la prolongación de la vida del pavimento ya que ocurre un deterioro en las capas asfálticas y las bases granulares debido al acción del tránsito, el clima y el envejeciendo de los materiales, entre otros.

4.3 Clasificación de rehabilitaciones

REHABILITACION	Problema		Possible Solución
	Superficial	Son problemas que se relacionan normalmente al envejecimiento del asfalto y al agrietamiento de la superficie del pavimento, generalmente dentro de los 50 a 100 milímetros de la carpeta asfáltica.	Sobrecarpetas Asfálticas Fresar y Reemplazar Reciclado de carpeta asfáltica

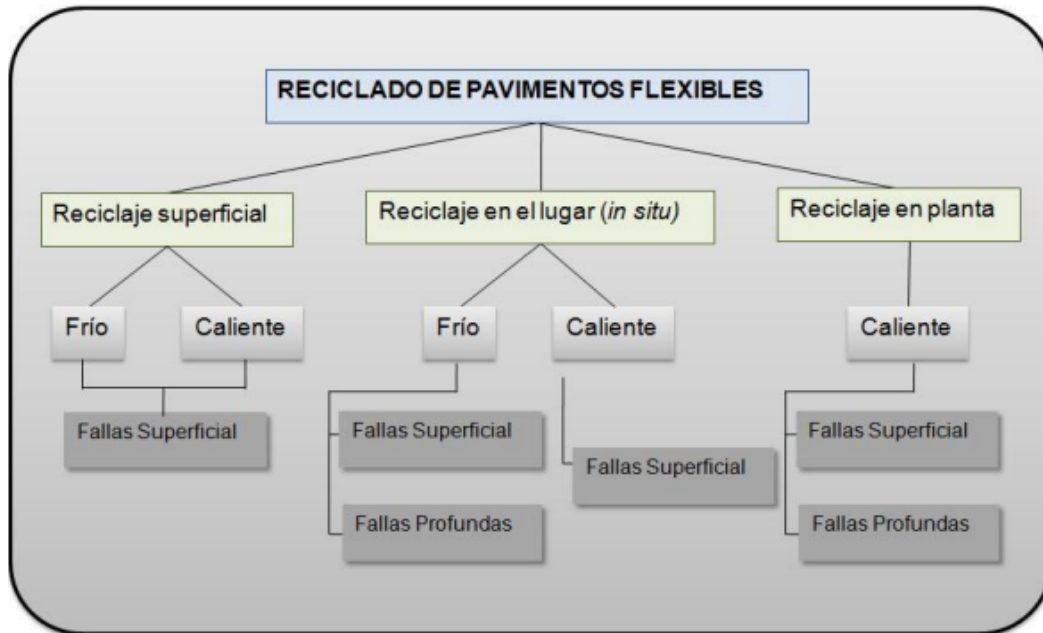
REHABILITACION	Problema		Possible Solución
	<i>Estructural</i>	Son problemas que se presentan en la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla de la capacidad estructural del pavimento relacionadas con deformaciones.	Reconstrucción total

Fuente: Writen Group, 2010

4.4 Reciclaje de pavimentos

Según Montejo, (2005), se entiende por reciclaje de pavimentos, la reutilización de materiales que forman parte de alguna de las capas estructurales de pavimentos existentes y que han cumplido su finalidad inicial, mediante la transformación de un pavimento degradado en una estructura homogénea y adaptada al tráfico que debe soportar.

Reciclaje de Pavimentos Flexibles



Fuente: Montejo, 2010

4.5 Técnicas de reciclaje

Este tipo de métodos se basan en la reutilización de los materiales del pavimento defectuoso a los que se pueden añadir otros elementos como agentes rejuvenecedores, nueva mezcla bituminosa, entre otros.

4.6 Reciclaje in situ en caliente:

Se reutilizan los materiales de la estructura envejecida mediante un tratamiento a altas temperaturas en el lugar de la obra, se calienta mediante unos quemadores y este material se mezcla con agentes químicos rejuvenecedores y con nueva mezcla, que al final se extiende y compacta según el espesor requerido.

4.7 Reciclaje in situ en frío con cemento:

El Procedimiento que se fundamenta en el fresado en frío de un cierto grosor del pavimento envejecido y el mezclado de este material con un conglomerante hidráulico como el cemento utilizado normalmente. El nuevo material se extiende y se compacta definiendo una sólida base para posteriores refuerzos.

4.8 Reciclaje in situ en frío con emulsiones bituminosas:

Esta técnica, reutiliza la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido. El procedimiento usual y básico consiste en el fresado en frío de cierto espesor del pavimento, este material se mezcla con una proporción determinada de emulsión y otros aditivos. El nuevo material se extiende y se compacta, seguido del curado de la capa reciclada y por último la extensión de una capa delgada de rodadura a base de mezcla caliente.

4.9 Reciclaje en planta:

El procedimiento permite reciclar el conjunto o una cierta proporción de material envejecido mediante una central asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, esta metodología permite corregir problemas graves de dosificación o calidad de los materiales.

4.10 Ventajas de técnicas de reciclaje

PRINCIPALES VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO	
TECNICA DE RECICLADO	VENTAJAS
Reciclado superficial	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige las deficiencias de origen superficial
	Mejora el perfil geométrico de la calzada
	Permite eliminar la capa de restitución de gálibo en refuerzos del pavimento
Reciclado "IN SITU"	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural
	Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento
	Elimina temporalmente las fisuras reflejas
	Permite corregir las características de las mezclas Asfálticas superficiales (6 a 7 cm) con deformaciones plásticas
	Mejora el perfil geométrico de la calzada
Reciclado en Planta	Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto
	Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural
	Produce mezclas asfálticas de mejor calidad
	Permite eliminar o corregir las capas intermedias de deficiente comportamiento
	Elimina las fisuras reflejas
	Mejora la resistencia al deslizamiento
	Corrige el perfil geométrico de la calzada

Fuente: Rafael Menéndez, 2015

SÍNTOMAS	SOLUCIÓN CON EL RECICLADO
Fisuras en la carpeta asfáltica	Las fisuras son eliminadas
Perdida de adherencia en el agregado pétreo	Mezclado y recubierto con ligante
Desniveles y resaltos hasta 6cm en la carpeta asfáltica	Escarificación y renivelación de la carpeta asfáltica
Perdida del drenaje superficial	El bombeo y las mezclas drenantes son reacondicionadas
Perdida de viscoelasticidad del asfalto	Restablecida por medio de rejuvenecedores
Cambio en la granulometría	La gradación es restablecida
Perdida de transitabilidad y confort	Mejora la resistencia al deslizamiento

Fuente: Repaving Cutler, 2010

5. RESULTADOS

5.1 DENSIDAD EN EL TERRENO CONO DE ARENA

Densidad Seca	3	Humedad	8,30
Máxima (Dr) :	2,085	Óptima	

		(Gr/cm ³)	(%):		
Densidad # :	Medida	1	2	3	4
A=Arena Inicial+cono	Gr	6283	6223	6219	
B=Arena final+cono	Gr	2775	2870	2870	
C=Constante del Cono	Gr	1604	1604	1604	
D=A-B-C=Peso Arena en el Hueco	Gr	1903	1748	1744	
E=Densidad de la Arena	Gr/cm ³	1,41	1,41	1,41	
F=D/E= Volumen del Hueco	Cm ³	1346,8	1237,1	1234,3	
G= Material Humedo	Gr	2987	2745	2796	
H= G/F=Densidad Humeda	Gr/cm ³	2,22	2,22	2,27	
DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL MATERIAL					
Recipiente	#				
P1= Material Humedo + recipiente	Gr				
P2= Material SECO +Recip	Gr				
P3= Peso del recipiente	Gr				
I=Humedad =(P1-P2)/(P1-P3)*100	%	7	6,5	7	
J= H	Gr/cm ³	2,07	2,08	2,12	

(1+l/100)=Densidad seca					
K= J* 62,4 =Densidad seca	Lb/pie3	129,3	130	132,1	
L= Proctor, Densidad Max Lab	Gr/cm³	2,08	2,08	2,08	
M= (J/L)*100= Compatacion	%	99,6	100,1	101,7	
DENSIDAD PROMEDIO (Dm) :	%	100,5	DENSIDAD INDIVIDUAL (Di) :		98,7

Fuente: Propia

ESPECIFICACIONES IDU-ET-2005			
	RECEBO SELECCIONADO	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR
Dm (%)	95	95	100
Di (%)	98	98	98

5.2 GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA

PESO DE LA MUESTRA

P1 = 4289,2

P2 = 4018,6

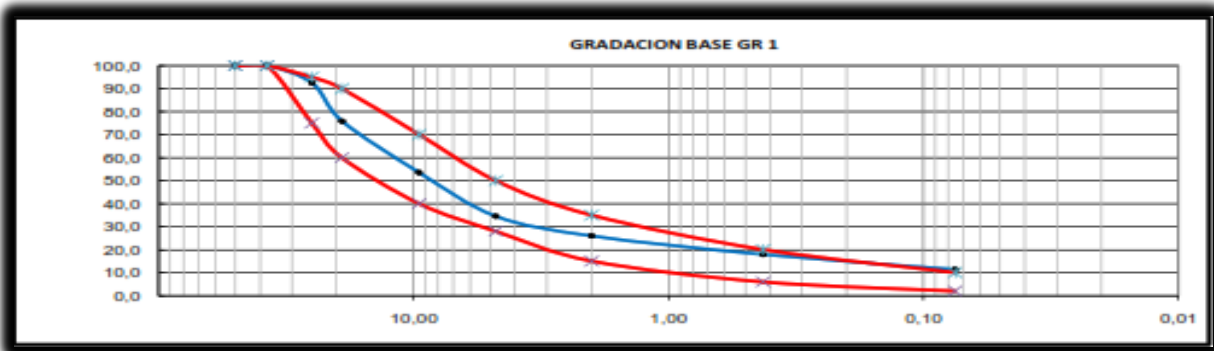
GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA

NORMA IDU-2011 SECCION 400-11

Tamiz	Tamiz m.m.	Peso Retenido	%	%	Tabla 400.4 BASE_Gr 1		Tabla 400.4 BASE_Gr2	
					min	max	min	max
2	50	0	0	100	100	100	100	100
1 1/2"	37,5	0	0	100	100	100	100	100
1"	25	325,1	7,6	92,4	75	95	100	100
3/4"	19,1	714,2	16,6	75,8	60	90	75	95
3/8"	9,5	959,8	22,3	53,5	40	70	50	80
#4	4,75	814,9	19	34,5	28	50	35	60
#10	2	368	8,6	26	15	35	20	40
#40	0,43	348,5	8,1	17,9	6	20	8	22
#200	0,075	277,6	6,5	11,4	2	10	2	10
Fondo		8,5	6,8					
Total		3816,6	95,3					

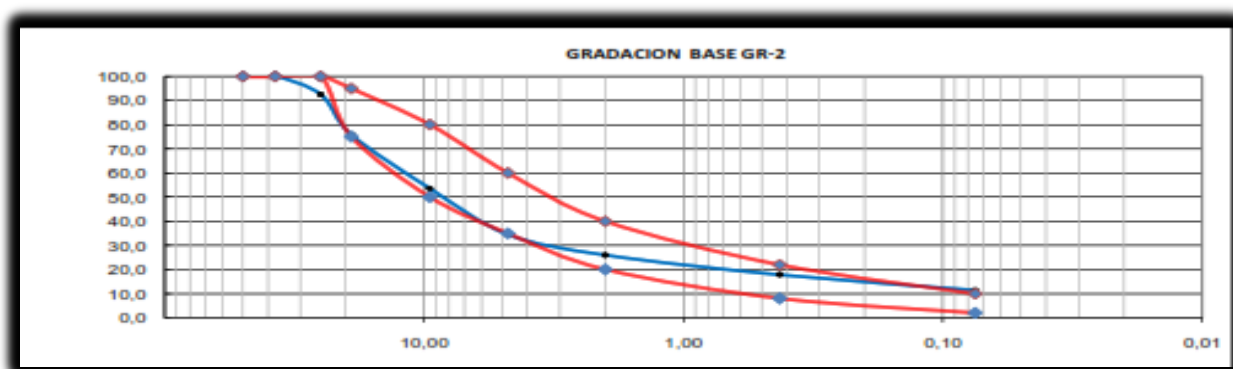
Fuente: Propia

GRADACION BASE GR-1



Fuente: Propia

GRADACION BASE GR-2



Fuente: Propia

Granulometría

Grava (%) → 64,5

Arena (%) → 24,1

Finos (%) → 11,4

Humedad Natural: 0,0%

Límite Líquido: N.L

Límite Plástico: N.P

ESPECIFICACIONES IDU		
	LL max.	IP max.
Base A	25	N.P
Base B	25	N.P
Base C	25	3,0
Subbase A	25	3,0
Subbase B	25	3,0
Subbase C	25	6,0

5.3 EQUIVALENTE DE ARENA

PRUEBA	1	2	3	PROMEDIO
Lectura de arena (pulg)	2,5	2,4		
Lectura de arcilla (pulg)	10,6	10,4		
Equivalente de Arena	23,2	23,5		
Equivalente de Arena	24	24		24,0

Fuente: Propia

Equivalente de Arena =	24 %
-------------------------------	-------------

ESPECIFICACIONES PARA EQUIVALENTE DE ARENA				
Material	IDU-2011	Mínimo E.A.	Cumple	
Base Granular tipo A				
tipo B y tipo C	Tabla 400.2	20%	SI	

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Al determinar las propiedades de cada uno de los materiales en estudio se definió que cumplen a cabalidad los aspectos generales dados por IDU.

DENSIDAD EN EL TERRENO CONO DE ARENA

Con base en el ensayo de densidad en el terreno del cono de arena se puede decir y analizar de estos resultados obtenidos que la densidad media (dm) cumple con el 95% de la densidad máxima en los resultados de laboratorio para subbases granulares norma IDU- ET-2011 sección 400.11.

ANALISIS GRANULOMETRICO

Con base en el análisis del material producto del reciclaje, el material se ajusta al rango granulométrico establecido por la norma IDU- ET-2011 para base granular gr 1.

Los materiales productos del reciclaje, según su granulometría a su vez tienen una semejanza dentro de la clasificación MDC-2.

El material se ajusta a los rangos granulométricos establecidos por la norma IDU- ET-2011 sección 400.111 para base granular gr 1 y se puede decir que este material es óptimo para utilizar.

EQUIVALENTE DE ARENA

Basados en el ensayo realizado de equivalente de arena en estos materiales productos del reciclaje y con su adición de cemento y bitumen, el material cumple con los criterios establecidos por las especificaciones técnicas norma IDU- ET-2011 para bases granulares tipo a y son óptimos para su utilización.

RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Este ensayo por motivos de tiempo en esta investigación no se pudo realizar, pero es pertinente resaltar la importancia que tiene este ensayo para determinar variables de peso en todo el análisis de mis materiales producto del reciclaje de pavimentos, puesto que con este ensayo las variables principales a obtener son: % de asfalto absorbido, vacíos con aire, asfalto efectivo, % de vacíos agregados minerales y la relación/ estabilidad de flujo, todo partiendo del análisis granulométrico determinado.

7. CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica sobre las técnicas de reciclaje y a partir de los resultados obtenidos en nuestros ensayos de caracterización, las conclusiones generales de este trabajo de investigación son las siguientes:

- Las técnicas de reciclaje se convierten en una alternativa importante y viable para el mejoramiento y/o rehabilitación de pavimentos flexibles en la ciudad de Bogotá.
- Realizados algunos ensayos de caracterización de materiales productos del reciclaje, se puede decir que estos cumplen a cabalidad con las normas IDU para bases y subbases granulares en pavimentos flexibles IDU- ET-2011.
- Es necesario realizar todos los ensayos de laboratorio necesarios para la caracterización del material y así poder determinar si es idóneo para el diseño estructural.
- Con el uso de materiales productos del reciclaje se puede decir de este reciclaje que está ligado netamente a la ecología porque nos está permitiendo utilizar recursos de la naturaleza reutilizando todos los materiales que se hayan usado en algún proyecto determinado la cual nos ayuda a la noción compleja de la conservación ambiental en nuestro país.

8. RECOMENDACIONES

- El uso de materiales producto del reciclaje con adición (cemento) tiene mucha aplicabilidad y fuerte duración, pero es de destacar que nuestro medio en el país se diseña con los mismos criterios y se deberá enfatizar el uso de estos materiales para obtener el bajo costo y mejor utilidad en las ciudades principales del país.
- Se recomienda que Cuando el pavimento existente presente pocos deterioros, se analice otra alternativa puesto que sale más económica su intervención.
- La utilización de materiales producto del reciclaje, es una alternativa económica, porque nos permite la reutilización del material existente en nuestro proyecto a ejecutar.

9. REFERENCIAS

- Instituto Nacional de Vías. “Normas de ensayo para materiales de carreteras”. Bogotá D.C. 2007.
- Ministerio de Transporte - Instituto Nacional de Vías. “Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras”. Bogotá D.C.2008.
- Montejo, Alfonso. “Ingeniería de pavimentos para carreteras”. Universidad católica de Colombia. 1998.
- González, Rubén. “Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos en Áreas Urbanizadas”. Lemac. Argentina. 1995.
- INVIAS. (2012). Reciclado del pavimento, una técnica viable y económica para las vías. En: (octubre del 2014)