

**AUXILIAR DE INGENIERIA EN EL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO  
N°2141 ENTRE INVIAS – UNIVERSIDAD DEL CAUCA.**



**IMFORME DE PRACTICA PROFESIONAL (PASANTÍA)  
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL**

**LINA MARÍA MOLANO MANQUILLO  
04102080**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
POPAYÁN  
2015**

**AUXILIAR DE INGENIERIA EN EL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO  
N°2141 ENTRE INVIAS – UNIVERSIDAD DEL CAUCA.**



**IMFORME DE PRACTICA PROFESIONAL (PASANTÍA)  
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERA CIVIL**

**LINA MARÍA MOLANO MANQUILLO  
04102080**

**PRESENTADO A:  
ING. JULIA EUGENIA RUIZ.**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
POPAYÁN  
2015**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo general del Convenio Interadministrativo N°2141 entre INVIAS y UNICAUCA.....	6
2.2. Objetivo de Práctica Profesional.....	6
2.3. Objetivos específicos de la práctica.....	6
3. MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	8
3.3. Mezclas analizadas .....	25
3.4. Diseño de mezclas .....	26
3.3.1. Gradaciones de trabajo .....	30
3.3.2. Gravedades específicas.....	30
3.4. Fórmula de trabajo.....	32
3.5. Curvas maestras.....	42
4. CAPAS DE BASES Y SUB-BASES.....	44
4.1.1. Especificaciones de calidad del agregado para bases y sub-bases.....	48
4.1.2. Gradaciones de trabajo.....	51
4.1.3. Caracterización de bases.....	57
4.1.4. Curvas de análisis del CBR para bases y sub-bases.....	58
4.2. Capas ligadas .....	61
4.2.1. Capas estabilizadas con emulsión asfáltica.....	61
4.2.2. Bases estabilizadas con cemento.....	65
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69

5.1. Análisis de granulometría en las mezclas asfálticas.....	69
5.2. Análisis de ligante en las mezclas asfálticas .....	72
5.3. Análisis del CBR en las bases y sub-bases.....	74
6. CONCLUSIONES .....	75
7. BIBLIOGRAFÍA.....	77
8. ANEXOS.....	79

## 1. INTRODUCCIÓN

Enmarcado en el Convenio 2141 establecido entre el Instituto Nacional de Vías y la Universidad del Cauca para desarrollar los Manuales de diseño de Pavimentos Flexibles y el Capacidad y Niveles de Servicio, se viene adelantando un estudio sobre los principales materiales utilizados en los pavimentos flexibles. La investigación pretende conocer a cerca de las propiedades de los materiales viales que se disponen en Colombia, cuya calidad se controla con base en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de ensayo para Materiales de Carreteras - INVIAS 2013, y de suelos de subrasante. La caracterización incluye la realización de las pruebas de control de calidad, clasificación y de caracterización dinámica mediante ensayos de módulos dinámicos o resilientes según sean capas asfálticas o sean materiales no ligados, siguiendo los protocolos propuestos por INVIAS, la AASHTO y la ASTM. Los resultados de esta investigación se analizarán en conjunto con los resultados obtenidos en otros estudios similares realizados en Colombia y así lograr encontrar datos típicos de los parámetros requeridos para el diseño de pavimentos flexibles, cuando se utilizan métodos empíricos, mecanicistas, modernos como AASHTO MEPDG, utilizando leyes de fatiga como la SHELL corregida o INA ajustada; es por eso que se incluyen los diferentes materiales utilizados para conformar las capas de los pavimentos flexibles y los suelos de subrasante.

Con los resultados de los ensayos de calidad que se la realizan a los materiales en estudio, se analiza que estos cumplan satisfactoriamente con los parámetros de exigidos por las especificaciones nombrabas previamente.

Se pretende proporcionar a los diseñadores datos reales sobre los intervalos entre los que fluctúan los parámetros de caracterización de los materiales y de los suelos de subrasante que permita a los diseñadores predecir con mayor certeza el comportamiento de las estructuras de pavimento flexibles.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1. Objetivo general del Convenio Interadministrativo N°2141 entre INVIAS y UNICAUCA**

Elaborar el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos Para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, con el fin de que el Instituto Nacional de Vías pueda suministrar a la Ingeniería Colombiana una herramienta que proporcione los criterios técnicos para el diseño de estructuras de pavimentos en concordancia con las nuevas tendencias de las metodologías de diseño.

### **2.2. Objetivo de Práctica Profesional**

Participar como auxiliar de ingeniería en el grupo de trabajo que está adelantando la Investigación sobre los materiales que se utilizan en los pavimentos flexibles que hay en Colombia.

### **2.3 Objetivos específicos de la práctica**

- Recopilar y organizar resultados de laboratorio
- Comparar las propiedades de los tipos de asfaltos empleados en la fabricación de las briquetas Marshall.
- Examinar los valores de cemento asfáltico iniciales estimados para el diseño de mezclas asfálticas, con los valores óptimos encontrados al finalizar el procedimiento utilizando el método Marshall

- Analizar la incidencia de la granulometría en las diferentes mezclas asfálticas elaboradas en el laboratorio.
- Evaluar la influencia del tipo de asfalto empleado, en cuanto a sus propiedades, en las diferentes mezclas asfálticas elaboradas en el laboratorio.
- Analizar las propiedades de los diferentes materiales de base y sub-base granulares estudiados en el desarrollo de la investigación, basadas en el CBR.

### 3. MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Una mezcla asfáltica es una combinación entre asfalto y agregados pétreos en las proporciones exactas, previamente definidas mediante un diseño cuidadoso. Es empleada para construir pavimentos ya sea como capa de rodadura, intermedia o base. Cuando se trata de la primera capa nombrada, tiene la principal función de brindar al usuario una superficie de rodamiento cómoda y segura, transmitiendo las cargas debidas a los vehículos que transitan por el pavimento a capas inferiores, es decir que soporta directamente las acciones de las cargas, siendo además una capa confortable, segura y estética. Pero en el caso de las otras dos capas, sirve como material que aporta resistencia estructural o mecánica a estas y absorben en menor medida las sollicitaciones del tránsito. Así principalmente su comportamiento, y por lo tanto vida útil, depende de agentes externos como el tiempo de aplicación de la carga y la temperatura. La Tabla 1 muestra cómo se clasifican las mezclas asfálticas dependiendo del parámetro que se desee evaluar.

Tabla 1. Clasificación de las mezclas asfálticas.

Parámetro de clasificación	Tipo de mezcla
Temperatura de puesta en obra	En frío (Temperatura ambiente)
	En caliente (150°C)
	Tibio (100°C)
%Vacíos en la mezcla	Cerradas ( $V_a \leq 6$ )
	Semi-abiertas ( $6 < V_a < 12$ )
	Abiertas ( $V_a > 12$ )
	Drenantes ( $V_a > 20$ )
Tamaño máximo del agregado	Gruesas ( $T_{max} > 5\text{mm}$ (N°4))
	Finas ( $T_{max} \leq 5\text{mm}$ (N°4))
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Uniformes
	Continúas
	Discontinuas

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.



Existen propiedades que se desean en las mezclas asfálticas, las cuales son:

- Estabilidad: resistencia a la deformación plástica de la mezcla bajo la acción del tránsito, es decir que no exista una deformación permanente.
- Durabilidad: indica la capacidad de resistir a la desintegración debida al tránsito y al clima.
- Flexibilidad: es la capacidad de la mezcla asfáltica de deformarse elásticamente para acompañar sin agrietamientos ni roturas, las pequeñas deformaciones que sufre la capa baja las acciones de las cargas.
- Resistencia a la fatiga: capacidad del pavimento de soportar deflexiones ocasionadas por el paso de cargas inferiores a la de rotura, cuyos efectos se acumulan hasta al agotamiento de la mezcla.
- Resistencia al deslizamiento: capacidad de ofrecer seguridad bajo condiciones desfavorables de alta velocidad y presencia de agua.
- Impermeabilidad: resistencia al paso del agua y del aire.
- Trabajabilidad: facilidad para ser calentada y compactada.

En este caso se van a analizar las mezclas asfálticas en caliente. Este tipo de mezcla consiste en una de máxima calidad, fabricada en planta, compuesta de agregados de excelentes características mezclados con cemento asfáltico, los cuales se calientan por separado generalmente entre 140 - 160°C para asfaltos originales y 160 – 190°C para asfaltos modificados. Luego son cuidadosamente medidos y proporcionados para después ser mezclados hasta que las partículas sean cubiertas con asfalto para su posterior transporte, extendido y compactación.

El presente informe estudia únicamente mezclas de gradación continua, con diferentes tamaños máximos, fabricadas tanto en frío como en caliente. Los demás capítulos a que hacen parte de la investigación son consignados en otros documentos.

### 3.1. Agregado pétreos en las mezclas.

En primer lugar un agregado es el conjunto de partículas de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inerte de forma estable y con características determinadas que lo hacen apropiadas para ser usados en la construcción de obras civiles. Los agregados pueden ser procedentes de canteras, minas y yacimientos, ser procesados (naturales o artificiales) o ser sintéticos o artificiales. En el caso de las mezclas asfálticas siempre deben ser procesados y con excelentes características de calidad, forma y angularidad. Para eso se le debe realizar una serie de ensayos o pruebas logrando ver su calidad, los cuales se pueden observar en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas densas en frío  
(Artículo 440 INV).

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
<b>Dureza, agregado grueso (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218			
-Capa de: rodadura/intermedia/base		25/35/-	25/35/35	25/35/35
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238			
-Capa de: rodadura / intermedia / base			25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura / intermedia / base	E-224			
-Valor en seco, mínimo (kN)				110/90/75
-Relación húmedo/seco mínima (%)				75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	0.45	0.45	
<b>Durabilidad (O)</b>				
-Perdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)	E-220	18	18	18

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Tabla 2. (Continuación)

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
<b>Limpieza, gradación combinada (F)</b>				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5	0.5	0.5
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10
<b>Geometría de las partículas, agregado grueso (F)</b>				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas	E-227			
-Una cara: rodadura / intermedia / base		75/60/-	75/75/60	85/75/60
-Dos cara: rodadura / intermedia / base		-	60/-/-	70/-/-
<b>Geometría de las partículas, agregado fino (F)</b>				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	40/35/-	40/40/35	45/40/35
-Capa de: rodadura / intermedia / base				
<b>Adhesividad (O)</b>				
-Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757	Reportar		
-Agregado fino: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	4		

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.

Tabla 3. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua. (Artículo 450 INV)

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
<b>Dureza, agregado grueso (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218			
-Capa de: rodadura/intermedia/base, 500 revoluciones		25/35/-	25/35/35	25/35/35
-Capa de: rodadura/intermedia/base, 100 revoluciones		5/7/-	5/7/7	5/7/7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238		25/30/30	20/25/25
-Capa de: rodadura / intermedia / base				
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura / intermedia / base	E-224			
-Valor en seco, mínimo (kN)	E-224			110/90/75
-Relación húmedo/seco mínima (%)				75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	0.45	0.45	0.45
<b>Durabilidad (O)</b>				
-Perdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)	E-220	18	18	18
<b>Limpieza, agregado grueso (F)</b>				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5	0.5	0.5
<b>Limpieza, gradación combinada (F)</b>				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10
<b>Geometría de las partículas, agregado grueso (F)</b>				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%)	E-227			
-Una cara: rodadura / intermedia / base		75/60/-	75/75/60	85/75/60
-Dos cara: rodadura / intermedia / base		-	60/-/-	70/-/-
<b>Geometría de las partículas, agregado fino (F)</b>				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	40/35/-	40/40/35	45/40/35
-Capa de: rodadura / intermedia / base				

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.

Tabla 3. (Continuación)

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
<b>Adhesividad (O)</b>				
-Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757	Reportar		
Agregado fino: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	4		

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.

Para dar inicio vale la pena hablar sobre la granulometría, la cual muestra la distribución porcentual de los diferentes tamaños de las partículas de un agregado y es de gran importancia ya que determina la calidad del mismo, pues incide en características de la capa que se elabore con ello, tales como en la resistencia, estabilidad, permeabilidad y manejabilidad. En las mezclas asfálticas la granulometría es fundamental en el esqueleto o estructura que la mezcla alcance, por eso siempre una de las actividades del diseño incluye la selección de la granulometría de trabajo.

Los agregados utilizados para componer el agregado combinado final con el que se elaboraron todas las mezclas estudiadas en esta investigación son:

Tabla 4. Gravilla de trituración material C, fuente: Cachibí

Tamices	Masa retenido [g]	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
1/2"	0	0	0	100
3/8"	49,5	1,5	1,5	75
Nº 4	2171,9	65,3	66,8	33
Nº 10	886,7	26,7	93,4	7
Nº 40	69,5	2,1	95,5	4
Nº 80	18	0,5	96,1	4
Nº 200	22,4	0,7	96,7	3,3
P - 200	109	3,3	100	-

Tabla 5. Gravilla de trituración material A, fuente: Cachibí

Tamices	Masa retenido [g]	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
1"	0	0	0	100
3/4"	2317,7	21,2	21,2	75
1/2"	5074,5	46,4	67,6	32
3/8"	1885,2	17,3	84,9	15
Nº 4	1201,7	11	95,9	4
Nº 10	144,7	1,3	97,2	3
Nº 40	55,2	0,5	97,7	2
Nº 80	36,5	0,3	98,1	2
Nº 200	45,4	0,4	98,5	1,5
P-200	167,1	1,5	100	

Tabla 6. Triturado, fuente: el Chocho

Tamices	Masa retenido [g]	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0	0	0	100
1/2"	168	2,3	2,3	98
3/8"	691,2	9,7	12	88
Nº 4	1699,7	23,7	35,7	64
Nº 10	1756,4	24,5	60,3	40
Nº 40	1765	24,7	84,9	15
Nº 80	368,7	5,2	90,1	10
Nº 200	231,8	3,2	93,3	6,7
P - 200	477,2	6,7	100	-

Tabla 7. Grava de trituración material B, fuente: Cachibí

Tamices	Masa retenido [g]	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
3/4"	0	0	0	100
1/2"	2131,8	29,5	29,5	70
3/8"	3494,4	48,4	77,9	22
Nº 4	1472,9	20,4	98,4	2
Nº 10	14,8	0,2	98,6	1
Nº 40	8,5	0,1	98,7	1
Nº 80	10,4	0,1	98,8	1
Nº 200	13,7	0,2	99	1
P - 200	71,5	1	100	-

Luego de tener el agregado final se le realizaron una serie de ensayos de laboratorio para evaluarlo bajo los parámetros exigidos para mezclas densas en caliente de gradación continua, los cuales se consignan en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de ensayos de calidad del agregado

Ensayo	Norma INV	Resultado
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	
- 500 revoluciones		22%
- 100 revoluciones		4%
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224	
-Valor en seco, mínimo (kN)		110KN
-Relación húmedo/seco mínima (%)		75%
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	48.2%

Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4") por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles: el ensayo evalúa la resistencia del agregado suelto a la abrasión y degradación mecánica durante su manejo, construcción y uso.

Tabla 9. Datos sobre Gradación, Carga Abrasiva y Revoluciones

Tamiz / Gradación		A	B	C	D	1	2	3
Pasa	Retenido	Fracciones de agregado a pesar en gramos						
3"	2 1/2"					2500 ± 50		
2 1/2"	2"					2500 ± 50		
2"	1 1/2"					5000 ± 50	5000 ± 50	
1 1/2"	1"	1250 ± 25					5000 ± 25	5000 ± 25
1"	3/4"	1250 ± 25						5000 ± 25
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10					
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10					
3/8"	1/4"			2500 ± 10				
1/4"	Nº 4			2500 ± 10				
Nº 4	Nº 8				5000 ± 10			
Peso total de muestra		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Peso de esferas [g]		5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 20	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.



El método empleado es el B, pues de acuerdo a la granulometría que se tiene entra en esta franja de trabajo.

Desgaste a 100 revoluciones = 4%

Desgaste a 500 revoluciones = 22.5%

El material cumple, porque el valor para una capa de rodadura máximo a 100 revoluciones es de 5% y a 500 revoluciones de 25%, y los valores encontrados están por debajo de estos. Estos valores citados son válidos para los 3 tipos de tránsito, los cuales se expresan en función del tránsito de diseño en número de ejes equivalentes de 80kN: NT1 ( $N_{80kN} \leq 0.5$ ), NT2 ( $0.5 < N_{80kN} \leq 50.$ ) y NT3 ( $N_{80kN} \geq 5.0$ )

Determinación del valor de 10% de finos: evalúa la resistencia mecánica de un agregado grueso a la trituración tomando como parámetro la carga de compresión necesaria para producir un 10% de finos, es decir que sirve para valorar el comportamiento de un agregado pétreo cuando se somete a degradación mecánica.

Fuerza aplicada para producir 10% de finos en estado seco = 299KN

Fuerza aplicada para producir 10% de finos en estado húmedo = 244KN

Relación húmedo/seco = 81.6%

El agregado cumple satisfactoriamente con la especificación, ya que esta dice que el valor en seco mínimo para la capa de rodadura debe ser de 110KN y la relación húmedo/seco mínima de 75%, valores que son superados por lo encontrados. Cabe aclarar que la norma sólo exige valores mínimos para NT3.

Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados (influenciado por la forma de las partículas, la textura superficial y la granulometría): el ensayo se emplea para evaluar la fricción interna del agregado fino. La cantidad de vacíos provee una indicación de la angularidad del agregado,

de la esfericidad y textura de la superficie, así un contenido algo de vacíos indica más caras fracturadas y viceversa. De esta forma el ensayo brinda información sobre la manejabilidad de la mezcla en la que se va a emplear el agregado.

Angularidad del agregado fino = 48.15%

El material cumple, porque según la norma para una capa de rodadura el valor mínimo de angularidad debe ser 40% para NT1 y NT2 y 45% para NT3, y 48.15% es superior a estos valores.

De acuerdo con la granulometría se hizo un análisis para componer las diferentes fracciones que se iban a manejar para alcanzar las gradaciones de trabajo de las diferentes mezclas estudiadas. La información almacenada al respecto se encuentra en las tablas en la Tabla 10 y 11. Una vez que se tuvieron las cantidades suficientes de cada fracción se inició el trabajo de identificación del agregado, diseño de las mezclas y elaboración de briquetas para la caracterización dinámica.

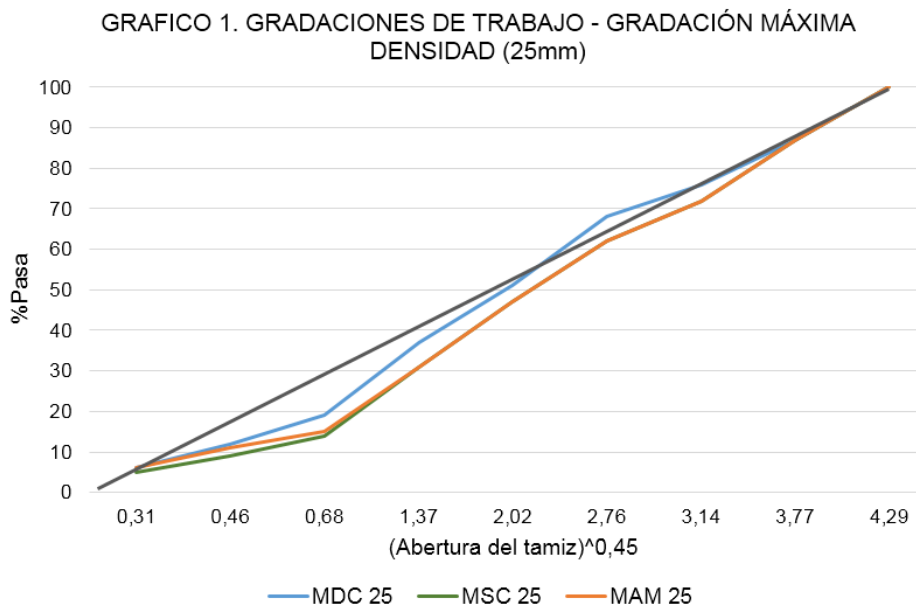
Tabla 10. Gradaciones de trabajo de la mezclas

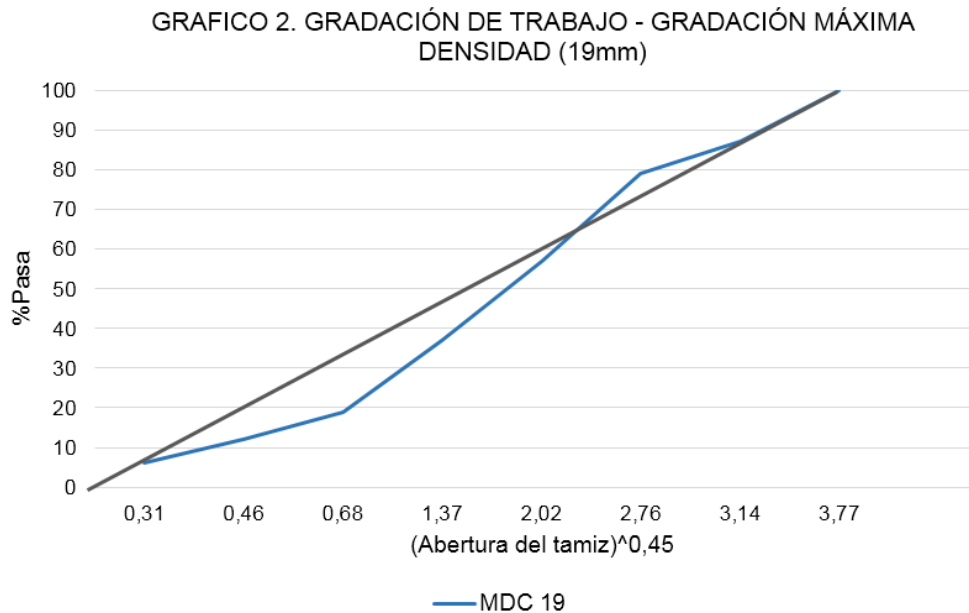
Tamiz	%Pasa			
	MDC 25	MDC 19	MSC 25	MAM 25
1"	100	100	100	100
3/4"	87	100	87	87
1/2	76	87	72	72
3/8	68	79	62	62
N°4	51	57	47	47
N°10	37	37	31	31
N°40	19	19	14	15
N°80	12	12	9	11
N°200	6	6	5	6

Tabla 11. Cantidades de material por cada fracción para realizar las briquetas.

Fracción	Cantidades a pesar (g) briquetas de ajuste			
	MDC 25	MDC 19	MSC 25	MAM 25
1" - 3/4"	161,2	0	161,2	161,2
3/4" - 1/2	136,4	161,2	186	186
1/2 - 3/8	99,2	99,2	124	124
3/8 - N°4	210,8	272,8	186	186
N°4 - N°10	173,6	248	198,4	198,4
N°10 - N°40	223,2	223,2	210,8	198,4
N°40 - N°80	86,8	86,8	99,2	49,6
N°80 - N°200	74,4	74,4	12,4	62
Pasa 200	74,4	74,4	62	74,4
SUMA	1240	1240	1240	1240

Con respecto a las gradaciones de trabajo, continuación se muestran los gráficos 1 y 2, donde se pueden observar simultáneamente estas junto con la gradación de máxima densidad, dependiendo del tamaño máximo del agregado de cada mezcla, que corresponde a una línea recta extendida desde la accisa de tamaño máximo de agregado y ordenada 100%, hasta el origen (0%,00mm)





La granulometría de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas de agregado se acomodan entre si, conformando el arreglo volumétrico mas compacto posible, pero esta debe evitarse porque con ella hay muy poco espacio entre los agregados como para permitir el desarrollo de una película de asfalto lo suficientemente gruesa, para obtener una mezcla durable.

Por otro lado en las mezclas asfálticas la medición de las gravedades específicas debe ser una actividad muy cuidadosa, porque es definitiva el análisis volumétrico que se realiza en el diseño para seleccionar la fórmula óptima de la mezcla.

En este estudio se realizó el ensayo de gravedad específica a cada una de las fracciones, siguiendo la norma, INV E 223-13 para agregado grueso y E- 239-13 para agregado fino, almacenando los resultados en la Tabla 12 que se presenta a continuación.

Tabla 12. Gravedades específicas de las diferentes fracciones

Gradaciones	Tamiz						
	Fracciones de agregado grueso				Fracciones de agregado fino		
	1" - 3/4"	3/4" - 1/2"	1/2" - 3/8"	3/8" - N°4	N°4 - N°10	N°10 - N°40	N°40 - N°200
<b>Gsb</b>	2.87	2.9	2.84	2.85	2.82	2.78	2.85
<b>Gsbsss</b>	2.9	2.93	2.86	2.9	2.87	2.83	2.89
<b>Gsa</b>	2.95	2.99	2.97	2.98	2.96	2.94	2.96
<b>%ABSORCIÓN</b>	1	1	1.6	1.6	1.6	2	1.3

Con estos resultados cabe destacar que existe una variación mínima entre las gravedades específicas de una fracción a la otra, lo cual se debe a la superficie específica del agregado, razón por la cual también hay una tendencia a que la absorción aumente y porque a medida de que la fracción se va volviendo más fina existe una mayor área específica, por lo tanto se logra absorber más agua.

### 3.2. Asfaltos

El asfalto es un material de color oscuro con propiedades aglutinantes, compuesto de hidrocarburos casi en su totalidad solubles en bisulfuro de carbono, sólido o semisólido a temperatura ambiente y que se licúa al calentarse. Es un material fuertemente cementante, altamente adhesivo, impermeable y durable, imparte la flexibilidad controlable a las mezclas de agregados minerales con los que se combina y resiste a la acción de los álcalis, ácidos y sales. Cuando se calienta la suficiente se vuelve líquido, lo cual permite cubrir partículas del agregado durante la producción de la mezcla en caliente.

Dependiendo del tipo de tránsito que vaya a hacer uso del pavimento y la temperatura anual de la región donde este se encuentre, la Norma INVIAS aconseja qué tipo de ligante asfáltico emplear, lo cual se encuentra resumido en la Tabla 13 específicamente.

Tabla 13. Tipo de asfalto por emplear en mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Tipo de capa	NT1			NT2			NT3		
	Temperatura media anual ponderada de la región [°C]								
	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
<b>Rodadura e intermedia</b>	60-70	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100	40-50 60-70 o Tipo II (a o b) o Tipo III	40-50 60-70 o Tipo II (a o b)	60-70 80-100 o Tipo IIb
<b>Base</b>	-	-	-	60-70 u 80-100	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100
<b>Alto módulo</b>	-	-	-	-	-	-	Tipo V	Tipo V	Tipo V

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.

En Colombia hay dos firmas importantes que modifican y comercializan asfaltos que son: Humberto Quintero O y CIA SCA (HQ) y Manufacturas y Procesos Industriales (MPI). Con estas se elaboraron mezclas en idénticas condiciones, de agregado, gradación de trabajo y tipo de ligante, varando únicamente la procedencia del asfalto.

A continuación, en la Tabla 14, se presentan las características de los diferentes tipos de asfalto empleados, necesarias para los cálculos del presente informe, brindadas por HQ y MPI.

Tabla 14. Características de los asfaltos HQ y MPI.

Tipo de mezcla	Característica							
	Gravedad específica	Penetración (25°C, 100 g, 5 s) [0.1mm]	Punto de ablandamiento [°C] (mínimo)	Índice de penetración (IP)	Viscosidad absoluta a 60°C [P]	Pérdida de masa [%]	Ductilidad (5°C, 5 cm/min) [cm] (min)	Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland [°C] (mínimo)
<b>HQ</b>								
Original 60/70	1.008	70	48.6	-0.75	N.A.	0.36	138.1	310
Tipo IIA	1.013	51	69			0.42	27.8	
Tipo IIB	1.008	59	76.8			0.40	28.4	312
Tipo III	1.010	59	87.5			0.46	33	308
TIPO V	1.014	24	72.5			0.29	N.A.	308
<b>MPI</b>								
Original 60/70	1.018	64.2	48.4	-1.02	2290	0.13		
Tipo IIA	1.020	52.4	60.2			0.055		
Tipo IIB	1.019	55.8	63.6			0.033		
Tipo III	1.02	56	85			0.02		
TIPO V	1.024	39.1	77.4			0.57		

Fuente: Empresas HQ y MPI.

Tabla 14. (Continuación)

Tipo de mezcla	Característica							
	Solubilidad en tricloroetileno [%]	Contenido de agua [%] (máximo)	Penetración del residuo [% de la penetración original] (mínimo)	Incremento en el punto de ablandamiento [°C]	Temperatura de mezclado [°C]		Temperatura de compactación [°C]	
HQ					Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Original 60/70	99.43	0	58.55	6.6	145	151	132	137
Tipo IIA		0	70.5		164	174	147	154
Tipo IIB		0	70		160	167	147	152
Tipo III		0	71.1		170	179	154	160
TIPO V		0	73.9		168	175	154	158
MPI					Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Original 60/70			56.23	6.4	148	154	137	141
Tipo IIA			64.5	8	168	172	152	158
Tipo IIB			67.4	5.9	170	174	153	160
Tipo III			65.8	4.5	178	186	160	168
TIPO V			90.5	3.1	174	184	158	164

Fuente: Empresas HQ y MPI.



### 3.3. Mezclas analizadas

En este informe se va a hacer énfasis en las mezclas normalizadas en los artículos 440 y 450 – 2013 de INVIAS con un agregado que cumpla con lo establecido en los mismos. Específicamente son de estudio las mezclas densas, semi-densas y de alto módulo, de las cuales las primeras serán elaboradas en caliente y frío. Estas mezclas nombradas previamente serán fabricadas con diferentes tipos de ligantes: asfalto sin modificar y asfalto modificado tipo IIa, tipo IIb, tipo III y tipo V. En la Tabla 15 se pueden encontrar almacenadas todas estas. Luego se van a hallar las fórmulas de trabajo para posteriormente elaborar las probetas y encontrar las curvas maestras empleando la norma AASHTO T 342.

Tabla 15. Mezclas a analizar

N° de mezcla	Tipo de mezcla	Gradación	Va	Ligante a utilizar	Artículo INV
1	MDC-25	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	5	Sin modificar MPI	450
2				Modificado Tipo II a (MPI)	
3				Modificado Tipo II b (MPI)	
4				Modificado Tipo III (MPI)	
5				Sin modificar (H.Q)	
6				Modificado Tipo II (H.Q)	
7				Modificado Tipo II b (H.Q)	
8				Modificado Tipo III (H.Q)	
9	MDC-19	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	5	Sin modificar MPI	450
10				Modificado Tipo II a (MPI)	
11				Modificado Tipo II b (MPI)	
12				Modificado Tipo III (MPI)	

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

Tabla 15. (Continuación)

N° de mezcla	Tipo de mezcla	Gradación	Va	Ligante a utilizar	Artículo INV
13	MDC-19	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	5	Sin modificar (H.Q)	450
14				Modificado Tipo II a. (H.Q)	
15				Modificado Tipo II b (H.Q)	
16				Modificado Tipo III (H.Q)	
17	MSC-25	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	5	Sin modificar MPI	450
18				Modificado Tipo II a (MPI)	
19				Modificado Tipo II b (MPI)	
20				Modificado Tipo III (MPI)	
21				Sin modificar (H.Q)	
22				Modificado Tipo II (H.Q)	
23				Modificado Tipo II b (H.Q)	
24				Modificado Tipo III (H.Q)	
26	MAM- 25	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	5	Modificado Tipo V (MPI)	450
27				Modificado Tipo V (HQ)	
28	MDF-25	Promedio especificación, cumpliendo relaciones de empaquetamiento	-	CRL-1h compatible con el agregado (MPI)	440
29				CRL-1h compatible con el agregado (HQ)	

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

### 3.4. Diseño de mezclas

Es necesario producir mezclas asfálticas de calidad, de manera que cumplan con requerimientos de durabilidad y buen desempeño en los pavimentos, de esta

forma existen características de los componentes de la misma, que la hacen apta para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas de un proyecto.

Un adecuado diseño de una mezcla asfáltica depende principalmente de la manera en que se seleccionan los materiales (agregado pétreo y cemento asfáltico) y de la mezcla compactada.

El método empleado en esta investigación es el método Marshall, que tiene como objetivo proveer una cantidad adecuada de cemento asfáltico a un agregado con gradación controlada que produzca una mezcla asfáltica que garantice las propiedades que se requieren, tales como estabilidad, durabilidad, cantidad de vacíos adecuada y buena trabajabilidad. Normalmente el porcentaje de óptimo de asfalto varía entre 5.5 y 6.5%, pero sin embargo cuando se fabrican las briquetas Marshall se debe empezar con un valor mínimo de 4.5%. El máximo porcentaje empleado puede llegar a ser hasta 8%. El valor óptimo de ligante depende de la granulometría, gravedades específicas y absorción de los agregados pétreos. En este caso para las mezclas fabricadas en el laboratorio los porcentajes de asfalto óptimo variaron entre 4.0 y 4.9%.

Para encontrar el contenido óptimo de asfalto en una mezcla existen varios criterios, pero en este análisis se tendrán en cuenta los siguientes:

Primer criterio: se determina la máxima densidad bulk (a), la máxima estabilidad (b) y el promedio de la especificación de vacíos con aire (c), el cual para tránsito liviano y mediano tiene un valor de 4% y para pesado de 5%, y se calcula un promedio de estos tres valores, con este se entra a las gráficas obtenidas y se verifica lo siguiente:

- La estabilidad tiene que ser mayor que un mínimo en función del tránsito.
- El flujo debe estar dentro de un rango
- El porcentaje de vacíos (%Va) debe estar dentro de un rango en función del tránsito.

- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%VFA) debe estar dentro de un rango en función del tránsito.
- El volumen de vacíos entre partículas del agregado (%VAM) debe ser mayor que un mínimo.

Cuando se encuentre el valor que cumple con todos los parámetros se debe chequear que también lo haga con más o menos 0.3%, de lo contrario se desplaza en las gráficas hacia la izquierda o derecha hasta lograr que cumpla con estos parámetros.

Segundo criterio: dependiendo del tránsito se tiene un valor promedio del porcentaje de vacíos (%Va), con este se entra a la gráfica que enfrenta dicho parámetro contra el porcentaje de asfalto (%Pb) y se obtiene el valor de este segundo, el cual debe cumplir lo mencionado en el primer criterio.

Los parámetros tratados anteriormente son los especificados en la Tabla 16, que se encuentran en el artículo 450 de INVIAS y dice lo siguiente:

Tabla 16. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el Método Marshall.

Característica		Norma ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
			Característica de tránsito			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)		E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75
Estabilidad mínima (N)			5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15
Flujo(mm) (Nota 2)			2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)			2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-
Vacíos con aire (Va),% (Nota 3)	Rodadura	E-736 o E-799	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia		4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base		NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %		E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75
Relación Llenante / Ligante efectivo, en peso		E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4
Concentración de llenante, valor máximo		E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey		-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo µm		E-741	7.5			

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Nota 1: Se debe usar la norma de ensayo INV E-800 en lugar de la INV E-748 cuando los agregados tengan un tamaño máximo superior de 25mm. Los valores en paréntesis son para los ensayos efectuados con INV E-800

Nota 2: para las mezclas que se fabriquen con polímeros se acepta un valor de flujo mayor (hasta 5.0mm), pero debe seguir cumpliendo con la relación estabilidad/flujo.

Nota 3: Para bacheos en capas de 50 a 75 mm de espesor se exigirán los requisitos de vacíos con aire de “intermedia” y para los de capas de más de 75mm se exigirán los requisitos para “base”. Si se llegase a efectuar un bacheo con mezcla asfáltica en caliente en espesor mayor de 75 mm en una vía cuyo tránsito de proyecto es NT1, se aplicará el criterio de vacíos con aire para las capas de “base” con tránsito NT2 (5 % - 8 %)

### **3.3.1. Gradaciones de trabajo**

Las gradaciones de trabajo para cada tipo de mezcla se manejan de la misma forma, es decir que son iguales, lo que varía realmente es el asfalto, tanto para MPI como para HQ.

Además estas gradaciones están contempladas dentro de las bandas que propone la norma INVIAS.

### **3.3.2. Gravedades específicas.**

Las gravedades específicas de los agregados hacen referencia a los volúmenes absolutos o volúmenes de las partículas del agregado. En el caso de mezclas asfálticas se consideran tres tipos, esto se debe a que en las mezclas asfálticas el asfalto absorbido en los poros permeables de las partículas del agregado no llena completamente dichos poros.

### 3.3.2.1. Gravedades específicas ponderadas para cada granulometría.

Inicialmente las gravedades específicas se encuentran por fracciones para así calcular la promedio respecto a cada una de las gradaciones de trabajo. Toda esta información se puede ver en la Tablas 17 y 18 presentadas en seguida.

Tabla 17. Gradaciones de trabajo

Tipo de mezcla	Tamiz (%Pasa)								
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
MDC-25	100	87	76	68	51	37	19	12	6
MDC-19	100	100	87	79	57	37	19	12	6
MSC-25	100	87	72	62	47	31	14	9	5
MAM	100	87	72	62	47	31	15	11	6

Tabla 18. Gravedades específicas ponderadas

Mezcla	Gsb	Gsa	Gse
MDC-25	2.843	2.96	2.902
MDC-19	2.84	2.963	2.902
MSC-25	2.932	2.817	2.875
MAM	2.845	2.961	2.903

$$G_s = \frac{100}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}}$$

Donde,

Gsb: gravedad específica bulk (tiene en cuenta únicamente el volumen sólido de las partículas)

Gsa: gravedad específica aparente (considera el volumen sólido de las partículas y volumen de los poros permeables)

Gse: gravedad específica efectiva (emplea el volumen efectivo del agregado, es decir, el volumen sólido de las partículas, el volumen de los poros permeables y el volumen de los poros permeables no llenos de asfalto)

Para comenzar los diseños Marshall lo ideal es tener una guía del valor aproximado de la cantidad de asfalto efectiva a utilizar para cada una de las mezclas, para ello se utiliza el índice de película de ligante, el cual es el espesor promedio de asfalto que está incorporado en la mezcla sin tener en cuenta el que ha sido absorbido por el agregado y se determina dividiendo el volumen de asfalto efectivo en la mezcla entre la superficie del agregado pétreo. Esta información se encuentra consignada en la norma INV E - 741 – 13 (Espesor de la película de asfalto en mezclas bituminosas).

Es así como se encontraron los valores de Pb para las diferentes mezclas elaboradas consignados en las Tablas 19 y 20 que se presentan más adelante.

### **3.4. Fórmula de trabajo.**

La fórmula de trabajo empleada para el diseño de mezclas asfálticas en caliente corresponde al promedio de la especificación de cada una de estas, pues se ajusta de manera adecuada a la franja propuesta por INVIAS.

Además para iniciar el Marshall de cada mezcla se asume un porcentaje óptimo de asfalto que involucra el promedio de las gravedades específicas de los materiales usados.



## DEFINICIONES:

Pb: (asfalto efectivo) contenido total de asfalto menos la fracción de ligante asfáltico absorbida por las partículas del agregado en una mezcla asfáltica en caliente compactada referido a la masa total de la mezcla.

Ps: contenido total de agregado en la mezcla expresado como porcentaje en masa de la masa total de la mezcla.  $Ps = 100 - Pb$ .

Va (%): porcentaje de vacíos que se encuentran entre las partículas del agregado llenos de asfalto en una mezcla asfáltica en caliente compactada, respecto al volumen total de la mezcla.

VAM (%): volumen intergranular de vacíos entre partículas del agregado de una mezcla asfáltica en caliente compactada (incluye vacíos de aire y el volumen de asfalto efectivo), respecto al volumen total de la mezcla.

VFA (%): es la fracción de vacíos entre agregados minerales que contiene ligante asfáltico en una mezcla asfáltica en caliente compactada.

Estabilidad: es la máxima carga en libras o kilogramos que resiste una briqueta cuando es sometida a un ensayo de tracción indirecta a una temperatura de 60°C y una velocidad de deformación de 2"/min.

Flujo: es la máxima deformación que se produce en la briqueta cuando se realiza el ensayo de estabilidad hasta lograr la máxima estabilidad. Se mide en el mismo sentido como se aplica la carga en centésimas de pulgada.

Con el diseño Marshall de cada mezcla se encontraron los resultados que aparecen en las Tablas 19 y 20, los cuales sirvieron de apoyo para obtener conclusiones sobre cada una de las mezclas asfálticas, en cuanto a la granulometría y el tipo de ligante empleado en cada una de ellas.

Tabla 19. Resultados obtenidos a partir del diseño Marshall de las mezclas MPI

N° de mezcla	Descripción de la mezcla y tipo de ligante	Pb [%]	Propiedades volumétricas			Propiedades mecánicas			Pb <sub>estimado</sub> [%]
			Va [%]	VAM [%]	VFA [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Relación estabilidad / flujo	
1	MDC 25	4.6	4.8	13.7	65.24	17283	4.3	4.1	4.8
2	MDC 19	5.0	4.7	14.9	68.3	15277	4.1	3.7	4.9
3	MSC 25	4.7	4.8	14.1	65.8	14925	3.5	4.3	4.0
4	MAM 25 TIPO V	4.6	N.A.	14.8	65.1	22698	4.9	-	4.4
5	MDC 25 TIPO IIA	4.9	5.4	15.2	64.3	17752	4.9	3.6	4.8
6	MDC 19 TIPO IIA	5.1	5.1	15.6	67.1	15971	4.1	3.9	4.8
7	MSC 25 TIPO IIA	5.2	4.9	15	67.7	15524	4.4	3.5	4.0
8	MDC 25 TIPO IIB	4.5	4.2	14.1	69.9	15964	5.0	3.2	4.8
9	MDC 19 TIPO IIB	5.3	4.9	16	69.0	17052	5.8	3.0	4.9
10	MSC 25 TIPO IIB	5.2	4.8	15.2	68.4	13265	4.5	3.0	4.0
11	MDC 25 TIPO III	4.2	4.3	14.3	69.4	22950	4.2	5.4	4.8
12	MDC 19 TIPO III	5.3	5.4	16.4	67.2	13216	4.1	3.2	4.9
13	MSC 25 TIPO III	5.0	5.1	15	65.6	12585	4.8	2.6	4.0

Tabla N°20. Resultados obtenidos a partir del diseño Marshall de las mezclas HQ.

N° de mezcla	Descripción de la mezcla y tipo de ligante	Pb [%]	Propiedades volumétricas			Propiedades mecánicas			Pb <sub>estimado</sub> [%]
			Va [%]	VAM [%]	VFA [%]	ESTABILIDAD [N]	Flujo [mm]	Relación estabilidad / flujo	
1	MDC 25	4.4	4.76	14	65.6	15498	4.3	3.6	4.8
2	MDC 19	5.4	4.8	16	69.4	14427	4.3	3.4	4.9
3	MSC 25	4.7	4.8	14.1	65	12413	3.9	3.2	4.0
4	MAM 25 TIPO V	4.4	N.A.	15.2	67.5	23217	4.8	-	4.4
5	MDC 25 TIPO IIA	4.7	5.1	15.1	65.7	16607	5.3	3.1	4.8
6	MDC 19 TIPO IIA	5.3	4.3	15.1	72.9	16932	4.8	3.5	4.9
7	MSC 25 TIPO IIA	4.9	4.3	14.6	69.7	15541	4.7	3.3	4.0
8	MDC 25 TIPO IIB	4.8	5.1	15.1	66.3	1666	5.4	2.9	4.8
9	MDC 19 TIPO IIB	5.1	5.4	16.4	66.7	16068	5.7	2.8	4.9
10	MSC 25 TIPO IIB	5.1	5.2	15.3	65.9	13677	5.6	2.4	4.0
11	MDC 25 TIPO III	4.6	5.0	14.6	65.7	16520	4.0	4.1	4.9
12	MDC 19 TIPO III	4.7	5.9	15.7	62	20306	5	4.1	4.9
13	MSC 25 TIPO III	4.7	5.9	15.8	61.5	15221	4.4	3.5	4.0

### CÁLCULO TIPO:

A modo de ejemplo se hace el cálculo para la mezcla asfáltica MDC-25 del  $P_{\text{estimado}}$  y del  $P_{\text{b(óptimo)}}$  para asfalto original MPI (Asfalto 60/70), que consta de la información presentada en la Tabla 21 brindada por esta empresa.

Tabla 21. Características del asfalto Tipo IIb MPI.

Propiedad	Norma de referencia INV	Especificación		Reporte de control de calidad	Frecuencia de estado
		MIN	MAX		
Penetración @ 25°C ,100 gr ,5 seg, (mm/10)	E-706	60	70	70	LOTE
punto de ablandamiento , (°C )	E-712		-	48,6	LOTE
Indice de Penetración (IP)	E-724	-1	-	-0,75	LOTE
Viscosidad Absoluta @ 60°C (P)	E-716	1500	-	N.A	LOTE
Viscosidad Brookfield @ 60°C (P) aguja 27,torque > 90%	E-717	1500	-	1648	LOTE
Pérdida por calentamiento película Delgada en mov @ 163°C, 85min (%)	E-720	-	1	0,36	SEMANTAL
Ductilidad @ 25 °C, 5 cm/min,(cm)	E-702	100	-	138,1	QUINCENAL
Peso específico	E-707		-	1,008	MENSUAL
punto de chispa (°C)	E-709	230	-	310	LOTE
Solubilidad en tricloroetileno ,(%)	E-713	99	-	99,43	SEMESTRAL
Contenido de agua (%)	E-704	-	0,2	0	TRIMESTRAL
Penetración del residuo después de la pérdida por calentamiento , % de la penetración original	E-706	52		58,5	SEMANTAL
Incremento en el punto de ablandamiento después de la pérdida por calentamiento en película delgada , °C (*)	E-712		9	6,6	SEMANTAL

Fuente: Empresa MPI

### 1- Se calcula en $P_{b\text{estimado}}$ para un Índice IPL de 7.5

Se calculan las gravedades promedias del agregado combinado

$$G_s = \frac{100}{\frac{P_1}{G_{s1}} + \frac{P_2}{G_{s2}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sn}}}$$

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{13}{2.954} + \frac{11}{2.9} + \frac{8}{2.972} + \frac{17}{2.983} + \frac{14}{2.96} + \frac{18}{2.94} + \frac{7}{2.96} + \frac{6}{2.96} + \frac{6}{2.96}}$$

$$G_{sa} = 2.96$$

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{13}{2.868} + \frac{11}{2.9} + \frac{8}{2.84} + \frac{17}{2.851} + \frac{14}{2.82} + \frac{18}{2.78} + \frac{7}{2.85} + \frac{6}{2.85} + \frac{6}{2.85}}$$

$$G_{sb} = 2.843$$

$$G_{se \text{ estimado como el promedio}} = \frac{G_{sa} + G_{sb}}{2} = \frac{2.843 + 2.96}{2} = 2.9015$$

Se calcula el área superficial de agregado combinado incorporado en la mezcla denominado A, como:

$$A = \frac{2 * 0.02a + 0.04b + 0.08c + 0.14d + 0.30e + 0.60f + 1.60g}{0.20482}$$

Donde,

a = porcentaje pasa el tamiz de 4.75 mm (No 4)

b = porcentaje pasa el tamiz de 2.36 mm (No 8)

c = porcentaje pasa el tamiz de 1.18 mm (No 16)

d = porcentaje pasa el tamiz de 0.60 mm (No 30)

e = porcentaje pasa el tamiz de 0.30 mm (No 50)

f = porcentaje pasa el tamiz de 0.15 mm (No 100)

g = porcentaje pasa el tamiz de 0.075 mm (No 200)

$$A = \frac{2 * 0.02 * 51 + 0.04 * 40 + 0.08 * 31 + 0.14 * 23 + 0.30 * 15 + 0.60 * 11 + 1.60 * 6}{0.20482}$$

$$A = 6.153$$

Se calcula el asfalto absorbido (Pba) como un porcentaje del peso del agregado con Gb=1.008

$$Pba = \frac{Gb (Gse - Gsb)}{Gsb * Gse} * 100$$

$$Pba = \frac{1.008 (2.9015 - 2.843)}{2.843 * 2.9015} * 100 = 0.715\%$$

Se calcula Pbe para un índice de película 7.5um

$$IPL = \frac{(1.01Pb - Pba)}{100 - Pb} * \frac{Dsb}{2.65 * A} * \frac{10^3}{Db}$$

Donde,

IPL = índice de película de ligante, o espesor de película

Pbe = contenido de asfalto efectivo (% de la masa de la mezcla), en este caso se coloca en función de Pb

Pb = contenido de asfalto total (% de la masa total de la mezcla),

Db = densidad del ligante a 25°C, Ton/m<sup>3</sup>,

Dsb = densidad bulk combinada del agregado, Ton/m<sup>3</sup>, y

A = área superficial del agregado combinado, m<sup>2</sup>/Kg.

Se expresa la fórmula de IPL en función de Pb para ello se utiliza la expresión de Pbe efectivo en función de Pb, Pba y Ps (Ps=100-Pb)

$$7.5 = \frac{(1.01Pb - 0.715)}{100 - Pb} * \frac{2.843}{2.65 * 6.153} * \frac{10^3}{1.008}$$

$$\rightarrow Pb = 4.8$$

Estos cálculos también se hicieron por el método Superpave para estimar Gse pero los valores óptimos reales de cada mezcla se acercan más a los del promedio, razón por la cual sólo se consignan estos, para sustentar esto se hace el cálculo a la misma mezcla.

$$Gse \text{ superpave} = Gsb + 0.8(Gsa - Gsb)$$

$$Gse \text{ superpave} = 2.843 + 0.8(2.96 - 2.843)$$

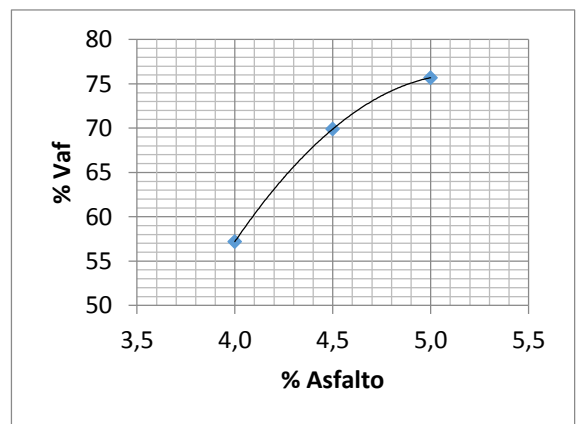
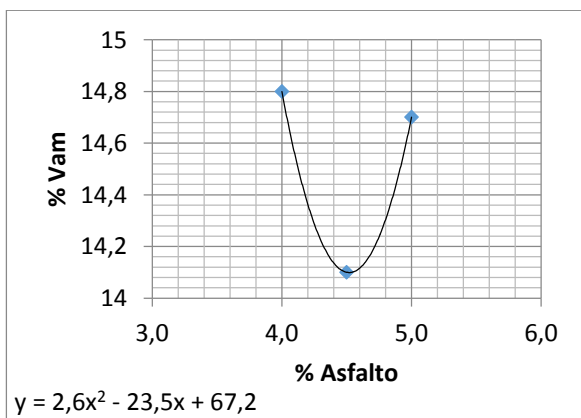
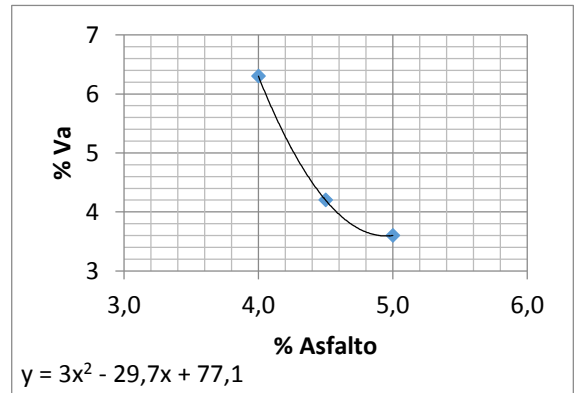
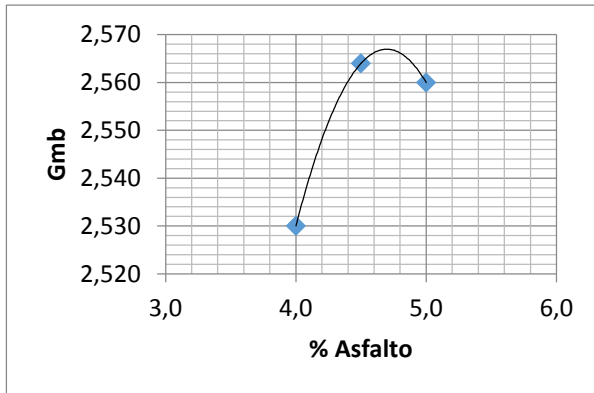
$$Gse \text{ superpave} = 2.937$$

$$P_{ba} = \frac{1.008 (2.937 - 2.843)}{2.843 * 2.937} * 100 = 1.135\%$$

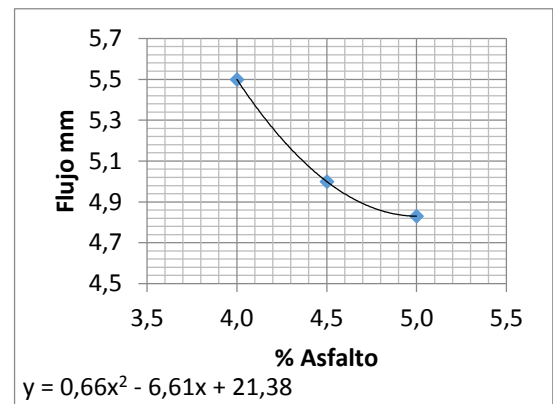
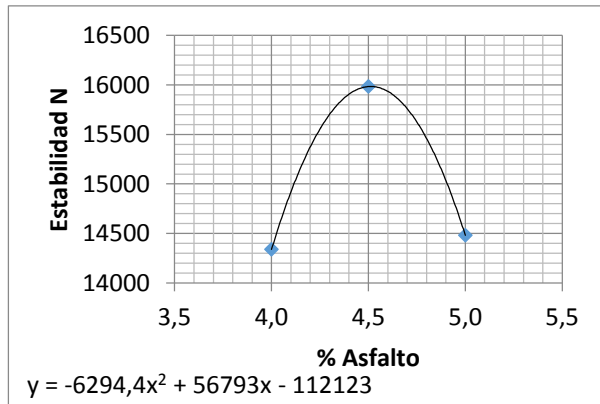
$$7.5 = \frac{(1.01P_b - 1.135)}{100 - P_b} * \frac{2.843}{2.65 * 6.153} * \frac{10^3}{1.008}$$

->P<sub>b</sub> = 5.2

2- Se realiza el diseño Marshall teniendo como base en P<sub>b</sub> estimado para seleccionar los porcentajes de asfalto.







3- Se selecciona el Pb optimo

**Pb** (óptimo):

Se determinan a, b, c.

a = valor de asfalto que da el valor de máxima densidad bulk = 4.9%

b = valor de asfalto que da el valor de máxima estabilidad = 4.5%

c = promedio de la especificación de vacíos con aire = 4%, por ser para tránsito liviano y medio.

$$P = \frac{a + b + c}{3} = \frac{4.7\% + 4.5\% + 5\%}{3} = 4.73\% \approx 4.7\%$$

Con ese valor se entra a todas las gráficas que arroja el Marshall, pero como no cumplen todos los parámetros se desplaza en la curva hasta un valor de 4.5% el cual si lo hace obteniendo los respectivos resultados y evaluándolos con el artículo 450 de INVIAS.

Estabilidad = 15963N

Flujo = 5mm

%Va = 4.2%

$\%Vaf = 69.9\%$

$\%VAM = 14.1\%$  (cumple)

### 3.5. Curvas maestras.



Figura N°1. Briquetas para los ensayos de Módulos dinámicos

Para comprender qué son las curvas maestras se debe tener claro qué es el módulo dinámico de una mezcla asfáltica, que está ligado en primer término al comportamiento viscoelástico del ligante que la compone, en segundo término a las características del agregado, el tercer término a las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica. Entonces de esta forma las curvas maestras de una mezcla representan el módulo dinámico en función del tiempo de aplicación de la carga o la frecuencia y en función del factor desplazamiento como una función de la temperatura, pues este depende íntimamente de estas variables.

La curva maestra puede en general ser caracterizada por dos parámetros: uno de forma que denota el tipo y ancho de espectro de relajación reológica y otro de localización, el cual puede ser pensado como una indicación de la dureza del asfalto a una temperatura seleccionadas.

En la construcción de tales curvas maestras lo que se hace es sobreponer el tiempo y la temperatura, recoger los datos en un rango determinado de temperatura y frecuencia y reducirlo eficazmente a una temperatura estándar que generalmente es 21.1°C y los datos tomados en otro tiempo se desplazan con respecto al tiempo hasta fusionar las curvas en una sola con base en la funciones viscoelásticas si la superposición de tiempo-temperatura es válida.

En la investigación se prepararon tres espécimen por mezcla, con la geometría solicitada para la determinación por prueba de compresión siguiendo la norma AASHTO T 342.

En el presente informe no se encuentran los resultados de los módulos dinámicos y las curvas características, porque corresponden a otra parte de la investigación, por lo tanto están consignados en otros documentos.

#### 4. CAPAS DE BASES Y SUB-BASES.

Una base es la capa que se encuentra por debajo de la de rodadura de un pavimento asfáltico y como se encuentra tan cerca a la superficie por donde transitan los vehículos debe tener una alta resistencia a la deformación para ser capaz de soportar los esfuerzos a los que se encuentra sometida, mientras que una sub-base es la capa que está entre la base y la subrasante y por estar en esa posición, es de menor calidad que la base debido a que soporta esfuerzos menores.

Funciones de la base granular:

- Aumentar la resistencia estructural
- Drenar agua.
- Evitar o disminuir el bombeo.
- Servir de capa de rodadura provisional facilitando la construcción.

Funciones de la sub-base granular:

- Evitar o disminuir el bombeo.
- Absorber cambios volumétricos de las subrasante.

Además pueden ser trituradas, no trituradas y estabilizadas con cemento o emulsión, lo cual se explica específicamente más adelante.

Para la construcción de estas capas granulares se debe seguir un procedimiento que comienza con la explotación del material que depende del tipo de roca que se tiene, luego se lleva el agregado a una planta de trituración para dosificarlo por volumen, cuando ya se tiene el material definitivo se lleva al sitio de la obra, se extiende con una motoniveladora con la cual se van haciendo las pendientes en cada capa, pues no debe hacerse sólo en la de rodadura, ya que el trabajo es mas dispendioso y antieconómico, para ello se debe humedecer previamente el

material con la humedad óptima encontrada en el laboratorio para finalmente compactarla. Para garantizar la resistencia global de la capa se debe realizar un ensayo de proctor modificado, una densidad de campo y medir el grado de compactación.

Toda esta información sobre bases y sub-bases se encuentra detalladamente consignada en los artículos 321 y 320 de INVIAS respectivamente.

Con respecto a las capas no ligadas los materiales a estudiar de base y sub-base tipo A y B, para NT3 y NT2 se evalúan de manera directa, debido a que se exige saber cómo está la capa compactada en una prueba triaxial dinámica para encontrar el módulo resiliente y definir el modelo no lineal de comportamiento de las capas. Esta información se complementa con otra obtenida por firmas de consultoría y universidades colombianas. Dichos materiales deben satisfacer totalmente lo establecido en los artículos INV 320–2013 e INV 330-2013. Además se le realizan a parte de los ensayos de calidad, curvas de compactación proctor modificado y pruebas de CBR.

La Tabla 22 presenta los 12 tipos de capas granulares que se van a estudiar.

Tabla 22. Bases y sub-bases granulares a estudiar.

N° del material	tipo		Gradación	Grado de compactación	Artículo INV
1	SBG 50	A	Promedio especificación	95 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	320
2		B			
3	SBG 38	A	Promedio especificación	95 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	320
4		B			
5	BG 40	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	330
6		B			
7	BG 27	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	330
8		B			
9	BG 38	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	330
10		B			
11	BG 25	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\dot{A}X}$	330
12		B			

Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

Ahora, en cuanto a las capas ligadas (Tabla 23) los materiales con que se estabilizan estas capas deben cumplir los requerimientos de calidad presentados en los artículos INV 340-2013 e INV 351-2013, de igual forma se valoran por los métodos recomendados por capas altamente cementadas. Para verificar que los materiales cumplan con los estándares de calidad, se hacen los diseños y se elaboran probetas para la caracterización dinámica.

Tabla 23. Bases granulares estabilizadas a evaluar.

N° del material	Tipo	Gradación	Artículo INV
1	BEE-38 MPI	Promedio especificación	340
2	BEE-38 HQ	Promedio especificación	
3	BEE-25 MPI	Promedio especificación	
4	BEE-25 HQ	Promedio especificación	
5	BTC-38	Promedio especificación	351
6	BTC-25	Promedio especificación	

El agregado a emplear para sub-bases granulares, bases granulares y bases estabilizadas con cemento y emulsión deben ser tales que cumplan con determinada granulometría y requisitos mínimos de ensayos que para evaluar la dureza, la durabilidad, la limpieza y la capacidad de soporte del mismo, ya que garantizando esto se certifican los mismos parámetros pero de la capa en general, tomada como un único conjunto.

Por otro lado es importante tener claridad en ciertos conceptos a tener en cuenta para este trabajo, los cuales se definen a continuación.

**Ligante:** es un material que tiene a función de adherir otros dos de manera perfecta. En pavimentos asfálticos el ligante es el encargado de brindar elasticidad a la estructura, razón por lo cual estos pavimentos se denominan flexibles

Los ligantes asfálticos pueden ser empleados en:

- Tratamientos superficiales
- Riegos con gravilla
- Lechadas bituminosas
- Mezclas en frío
- Estabilizaciones de suelos
- Reciclado de pavimentos
- Mezclas tibias
- Riego de liga
- Riego de imprimación

Los tipos ligantes a utilizar son:

**Emulsión asfáltica:** es una mezcla de cemento asfáltico, entre un 55 y 70% de la misma, con aditivos o emulsificantes en una solución de agua que permite su manipulación y colocación en obra a una temperatura cercana a la del ambiente. Tiene un color entre café oscuro y negro.

Para evaluar su calidad se le hace ensayos como: viscosidad, destilación, sedimentación, contenido de agua tamizado, mezcla con cemento, carga de las partículas y PH.

**Cemento:** es un material en polvo formado por una mezcla de caliza y arcilla calcinadas inicialmente, para que luego se le añada yeso y puzolana, lo que le da la propiedad para que al contacto con agua pueda fraguar y endurecerse, tomando una consistencia estable. Al ser mezclado con diferentes agregados o materiales puede formar otros como: pasta o lechada, mortero, concreto simple, concreto

reforzado o armado, concreto pre o post-tensado y concreto ciclópeo, que se emplean en diferentes tipos de obras civiles.

#### 4.1. Capas no ligadas.

Tabla 24. Bases y sub-bases granulares a estudiar.

N° del material	Tipo		Gradación	Grado de compactación	Artículo INV
1	SBG	A	Promedio especificación	95 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	320
2		B			
3	SBG	A	Promedio especificación	95 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	320
4		B			
5	BG	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	330
6		B			
7	BG	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	330
8		B			
9	BG	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	330
10		B			
11	BG	A	Promedio especificación	98 $\gamma d_{M\ddot{A}X}$	330
12		B			

#### 4.1.1. Especificaciones de calidad del agregado para bases y sub-bases.

Tabla 25. Requisitos de los agregados para bases granulares.

Característica	Norma de ensayo INV	Clase de agregado		
		Clase C	Clase B	Clase A
<b>DUREZA (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218			
-500 revoluciones		40	40	35
-100 revoluciones		8	8	7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013



Tabla 25. (Continuación)

Característica	Norma de ensayo INV	Clase de agregado		
		Clase C	Clase B	Clase A
<b>DUREZA (O)</b>				
Evaluación de la resistencia mecánica por el método de 10% de finos	E-224			
-Valor en seco, mínimo (kN)		-	70	90
-Relación húmedo/seco, mínimo (%)		-	75	75
<b>DURABILIDAD (O)</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
-Sulfato de sodio	E-220	12	12	12
-Sulfato de magnesio		18	18	18
<b>LIMPIEZA (F)</b>				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (%)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
<b>GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS (F)</b>				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%)	E-227			
-Una cara		50	70	100
-Dos caras		-	50	70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
<b>RESISTENCIA DEL MATERIAL (F)</b>				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado; el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión	E-148	≥80	≥80	≥95

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Tabla 26. Requisitos de los agregados para sub-bases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Clase de agregado		
		Clase C	Clase B	Clase A
<b>DUREZA (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218			
-500 revoluciones		50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
<b>DURABILIDAD (O)</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
-Sulfato de sodio		12	12	12
-Sulfato de magnesio		18	18	18
<b>LIMPIEZA (F)</b>				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	26
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
<b>RESISTENCIA DEL MATERIAL (F)</b>				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra seca sometida previamente a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Cabe aclarar que la clase C es para NT1, la clase B para NT2 y la clase A para NT3.

#### 4.1.2. Gradaciones de trabajo.

##### Bases Tipo A

Las gradaciones de trabajo reales se obtienen como el promedio de la especificación se encuentran en la tabla 27 presentada a continuación.

Tabla 27. Gradaciones reales de trabajo

Tipo de base	Tamiz (%Pasa)							
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
BG-40	100	88	78	57	40	24	14	5
BG-27	-	100	88	65	47	30	15	5
BG-38	100	85	75	60	45	33	20	10
BG-25	-	100	85	65	50	33	20	10

Tabla 28. Material Triturado Cachibi, Arena de Pto Tejada, Pasa 10 retenido No 40 de Cachibi y pasa No 200 de Cachibi. Cantidades requeridas para el trabajo

N° de la fracción	Tamiz	BG-40	BG-38	BG-27	BG-25	Cantidad total [Kg]
	1 1/2" - 1"	-	-	-	-	-
	1-3/4"	-	-	-	-	-
1	3/4"-3/8"	30	24	30	26	110
2	3/8-No 4	24	24	24	24	96
3	No 4- No 10	12	12	18	14	56
4	No 10-No 40	11	11	18	11	51
5	No 40- No200	8	9	10	9	38
6	Pasa No 200	5	9	5	9	28

Luego se hizo reemplazo y se obtuvieron unas granulometrías nuevas que se presentan en la Tabla 29.

Tabla 29. Granulometrías después del reemplazo.

Tipo de base	Tamiz (%Pasa)					
	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
BG-40	100	67	40	23	13	5
BG-27	100	71	47	30	15	5
BG-38	100	72	45	32	20	10
BG-25	100	71	50	35	20	10

Y ya con estos resultados se calculan las cantidades de material necesarias para producir la nueva gradación obtenida después del reemplazo para cada base, que se muestran de la Tabla 30 a la 33.

Tabla 30. BG-40. Cantidades para reproducir la gradación después del reemplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del reemplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 1/2"- 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	3/4"-3/8"	33	7000x0.33=2310
2	3/8-No 4	27	1890
3	No 4- No 10	13	910
4	No 10-No 40	10	700
5	No 40- No200	8	560
6	Pasa No 200	5	350

Tabla 31. BG-38. Cantidades para reproducir la gradación después del reemplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del reemplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 1/2" - 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	3/4"-3/8"	28	7000x0.28=1960
2	3/8-No 4	27	1890
3	No 4- No 10	13	910
4	No 10-No 40	12	840
5	No 40- No200	10	700
6	Pasa No 200	10	700

Tabla 32. BG-28. Cantidades para reproducir la gradación después del reemplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del reemplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 1/2" - 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	3/4"-3/8"	29	7000x0.29= 2030
2	3/8-No 4	24	1680
3	No 4- No 10	17	1190
4	No 10-No 40	15	1050
5	No 40- No200	10	700
6	Pasa No 200	5	350

Tabla 33. BG-29. Cantidades para reproducir la gradación después del reemplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del reemplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 ½"- 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	¾"-3/8"	29	7000x0.29= 2030
2	3/8-No 4	21	1470
3	No 4- No 10	15	1050
4	No 10-No 40	15	1050
5	No 40- No200	10	700
6	Pasa No 200	10	700

### Sub-bases Tipo A

Las gradaciones de trabajo reales se obtienen como el promedio de la especificación y se observan en la Tabla 34.

Tabla 34 Gradaciones reales de trabajo

Tipo de sub-base	Tamiz								
	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
SBG-50	100	83	75	60	65	40	28	16	9
SBG-38	-	100	85	70	60	45	33	19	9

Tabla 35. Material sub-base, fuente: Conexpe

N° de la fracción	Tamiz	Cantidades requeridas SBG-50 [Kg]	Cantidades requeridas SBG-38 [kg]	Cantidad total [Kg]
	2"	-	-	-
	1 1/2" - 1	-	-	-
	1-3/4"	-	-	-
1	3/4" - 1/2"	10	12	22
2	1/2" - 3/8"	10	14	24
3	3/8-No 4	18	20	38
4	No 4- No 10	5	11	16
5	No 10-No 40	17	11	26
6	No 40- No200	6	9	15
7	Pasa No 200	7	7	14

Luego se hizo reemplazo y se obtuvieron unas granulometrías nuevas que se presentan a continuación en la Tabla 36.

Tabla 36. Granulometrías después del reemplazo.

Tipo de sub-base	Tamiz (%Pasa)						
	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
SBG-50	100	88	76	40	35	15	8
SBG-38	100	85	69	45	32	19	8

Y ya con estos resultados se calculan las cantidades de material necesarias para producir la nueva gradación obtenida después del reemplazo, información consignada para cada sub-base en la Tabla 37 y 38.

Tabla 37. SBG-50, cantidades para reproducir la gradación después del remplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del remplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 ½" - 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	¾"-1/2"	12	7000x0.12= 840
2	½"-3/8"	12	840
3	3/8-No 4	36	1520
4	No 4- No 10	5	350
5	No 10-No 40	20	1400
6	No 40- No200	7	490
7	Pasa No 200	8	560

Tabla 38. SBG-38, cantidades para reproducir la gradación después del remplazo

N° de la fracción	Tamiz	Granulometría de trabajo, después del remplazo [% de la fracción]	Cantidades a pesar para fabricar espécimen [g]
	1 ½" - 1	-	-
	1-3/4"	-	-
1	¾"-1/2"	15	7000 x 0.15=1050
2	½"-3/8"	16	1120
3	3/8-No 4	24	1680
4	No 4- No 10	13	910
5	No 10-No 40	13	910
6	No 40- No200	11	770
7	Pasa No 200	8	560



#### 4.1.3. Caracterización de bases.

Tabla 39. Resultados obtenidos a partir del Proctor para bases tipo A.

Tipo de base	$\rho_{dmax}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Wóptima [%]	Gsb	%Saturación	%Absorción.
BG-40	2.390	6.7	2.848	74.3	1.5
BG-27	2.366	6.8	2.850	75.7	
BG-38	2.418	5.2	2.845	61.2	
BG-25	2.408	5.7	2.848	88.8	

Tabla 40. Resultados obtenidos a partir del Proctor para bases tipo B.

Tipo de base	$\rho_{dmax}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Wóptima [%]	Gsb	%Saturación	%Absorción.
BG-40	2.166	8.3	2.732	86.8	2.18
BG-27	2.185	7.7	2.731	84.2	
BG-38	2.206	7.3	2.789	77.0	
BG-25	2.184	7.5	2.598	-	

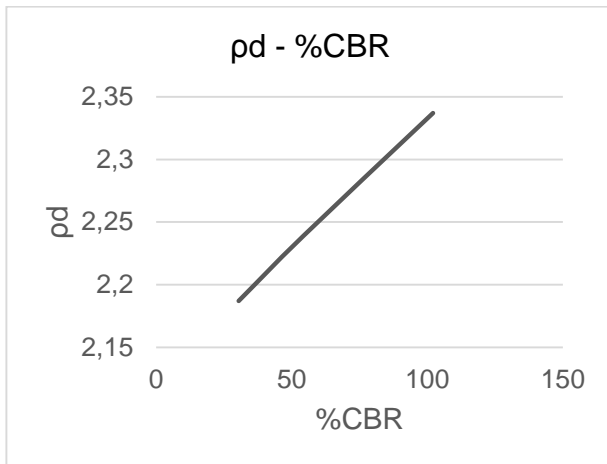
Además también se realizaron ensayos de CBR (Californian Bearing Ratio) para las diferentes bases y sub-base, el cual es una medida indirecta de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad que se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón de 3pulg<sup>2</sup> de área a una velocidad de 0.05pulg/min, dentro de una probeta de 6pulg de diámetro y 4.54pulg e altura y el esfuerzo requerido para el mismo pistón hasta la mismas profundidad a la misma velocidad en una muestra patrón, la cual es una grava triturada bien gradada.

#### 4.1.4. Curvas de análisis del CBR para bases y sub-bases.

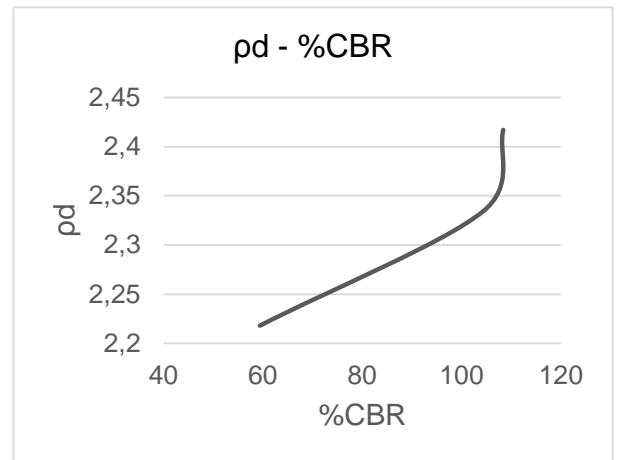
A continuación se representan los respectivos resultados luego de realizar el ensayo, donde se enfrentan los valores de densidad y de CBR obtenidos.

##### Tipo A

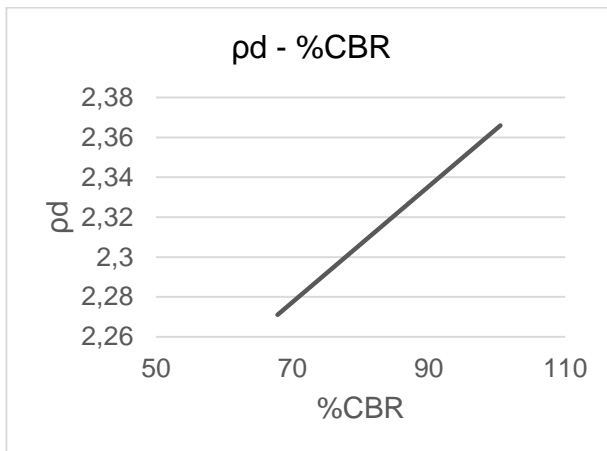
BG-40



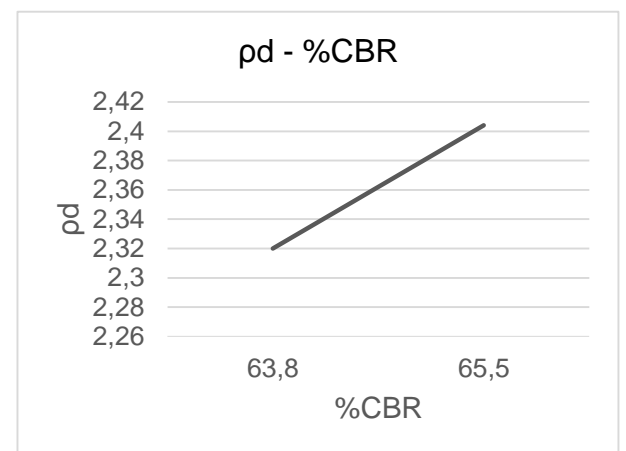
BG-38



BG-27

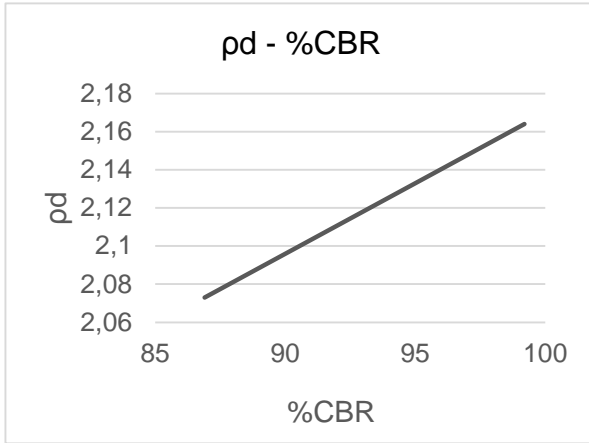


BG-25

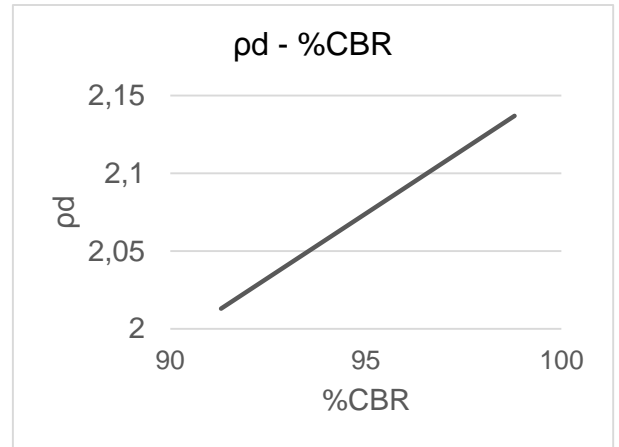


**Tipo B**

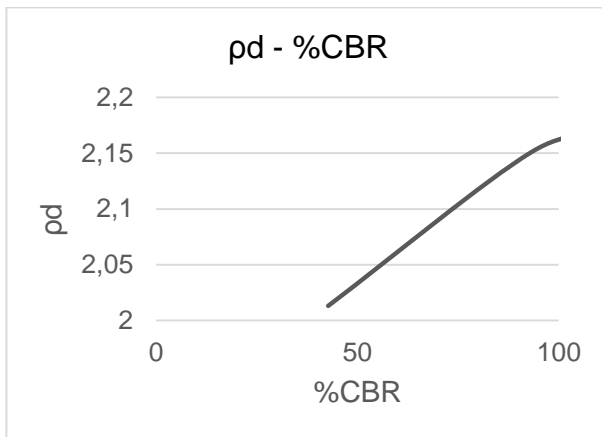
**BG-40**



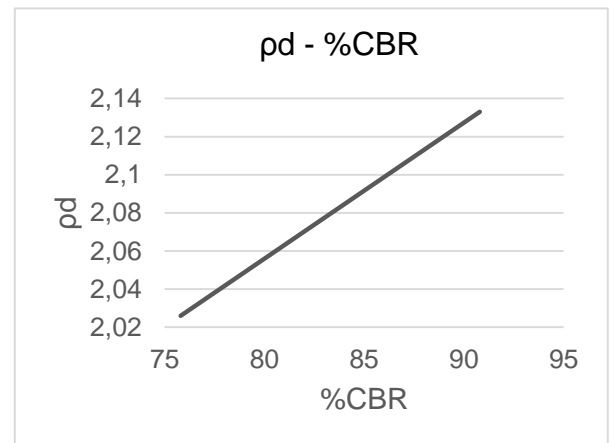
**BG-38**



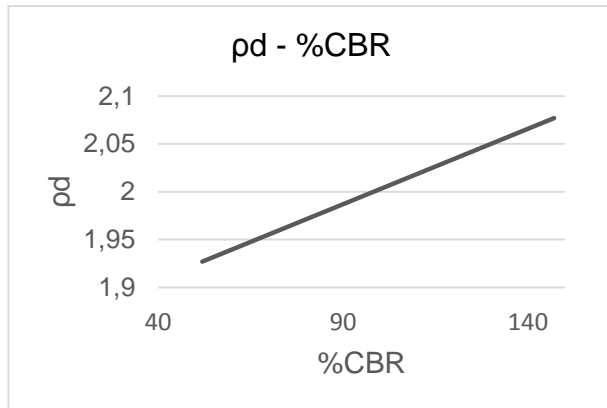
**BG-27**



**BG-25**



SBG-50



SBG-38

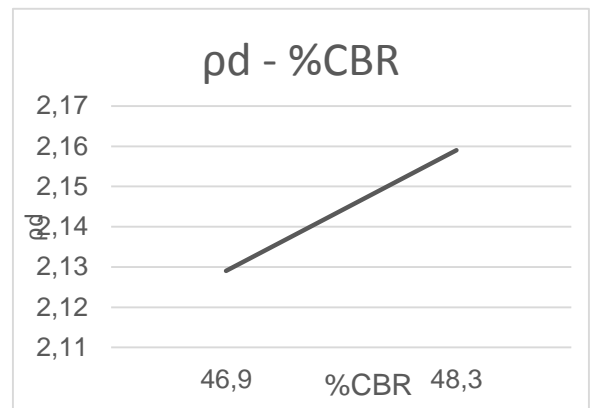


Tabla 41. CBR de bases y sub-bases según la especificación.

Tipo de base o sub-base	CBR según la especificación	CBR para la especificación
<b>A</b>		
BG-40	98	≥95
BG-38	98.2	≥95
BG-27	98	≥95
BG-25	64.2	≥95
<b>B</b>		
BG-40	93.5	≥80
BG-38	99	≥80
BG-27	88.3	≥80
BG-25	92.5	≥80
SBG-50	138	≥30
SBG-38	-	≥30

Según los datos obtenidos en el laboratorio se puede concluir que las bases y sub-bases en general son de buena calidad logrando cumplir con requisitos establecidos por la especificación como el CBR, pues en la mayoría de los casos este es mayor que el mínimo exigido, excepto en la BG-25 tipo A y en la SBG-38 tipo B, donde no fue posible leer el resultado final. Lo más seguro es que estos

errores se deban a la no adecuada realización del ensayo, en cuanto al equipo utilizado o a la mano de obra.

Además cabe resaltar que al hacer el ensayo de CBR se logra, en general, evaluar la resistencia de los materiales de subrasante, sub-base, base y de algunos materiales reciclados para pavimentos. Y este valor de resistencia se utiliza para el diseño de espesores de la estructura de pavimentos flexibles.

## 4.2. Capas ligadas

Tabla 42. Bases granulares estabilizadas a evaluar

N° del material	Tipo	Gradación	Artículo INV
1	BEE-38 MPI	Promedio especificación	340
2	BEE-38 HQ	Promedio especificación	
3	BEE-25 MPI	Promedio especificación	
4	BEE-25 HQ	Promedio especificación	
5	BTC-38	Promedio especificación	351
6	BTC-25	Promedio especificación	

### 4.2.1. Capas estabilizadas con emulsión asfáltica.

Se estabilizan bases con emulsión asfáltica con el objetivo de obtener materiales de alta resistencia para bases y estabilizar caminos con un tránsito bajo, pues en el segundo caso es una buena opción ya que con una menor inversión económica se pueden brindar unas excelentes condiciones de servicio para mejorar la red vial y con ello también mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona. Se debe tener en cuenta que el material que se vaya a estabilizar puede ser el obtenido al escarificar una capa superficial que ya existe, un material que se adiciona o una mezcla de ambos.

De este tema trata el artículo 340 – 13 de INVIAS, el cual contempla que se pueden estabilizar agregados pétreos, que provengan de trituración de piedra de cantera o grava, de fuentes de grava natural o una mezcla de ambos , pero se deben encontrar sin contaminación alguna por materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia nociva, además debe cumplir con una franja granulométrica especificada en ese artículo y deben cumplir con requisitos mínimos de parámetros y ensayos que muestran en la Tabla 43.

Tabla 43. Requisitos de los agregados pétreos para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
<b>DUREZA, AGREGADO GRUESO (O)</b>		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%)	E-218	
-500 revoluciones		50
-100 revoluciones		10
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	45
Resistencia mecánica por el método de 10% de finos (tránsitos NT2 y NT3)	E-224	
-Valor en seco, mínimo (kN)		30
-Relación húmedo/seco, mínimo (%)		50
<b>DURABILIDAD (O)</b>		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio), máximo (%)	E-220	18
<b>LIMPIEZA</b>		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	35
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y	7
	E-126	
Equivalente de arena, máximo (%)	E-133	70
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2
<b>CAPACIDAD DE SOPORTE (F)</b>		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	20

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Y para estabilizar bases se pueden empelar suelos finos A-1-b y A-2-4 que se encuentren en condiciones óptimas para ser usados, es decir que no sean pulverizables y que no contengan cantidades perjudiciales de materia orgánica, materiales micáceos o cualquier otra sustancia dañina, para ello también deben cumplir con los siguientes requisitos de calidad, los cuales se pueden ver en la Tabla 44.

Tabla 44. Requisitos de los suelos granulares para la construcción de bases estabilizadas con emulsión asfáltica.

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
<b>TIPO DE SUELO (F)</b>		
Clasificación según el sistema AASHTO	E-180	A-1-b o A-2-4
<b>LIMPIEZA, GRADACIÓN COMBINADA (F)</b>		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	35
Equivalente de arena, máximo (%)	E-211	≥90
Suelos A-1-b, mínimo (%)		20-40
Suelos A-2-4, intervalo y partículas deleznable, máximo (%)		2
<b>CAPACIDAD DE SOPORTE (F)</b>		
CBR del material sin emulsión asfáltica (%): porcentaje asociado al 90% de la densidad seca correspondiente al ensayo modificado de la compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días	E-148	20

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

La emulsión a usar debe ser catiónica y de rompimiento lento (CRL-1 o CRL.1h) cumpliendo requisitos de calidad. El agua debe ser potable, pero si no lo es debe estar limpia, con un pH entre 5.5 y 8.0 y un valor máximo de  $SO_4^{2-}$  de 1g/l. También podrán ser usados aditivos para rebajar la tensión superficial y mejorar la adherencia.

Se debe contar con el equipo indicado para todo el proceso, como el equipo para la explotación, cargue, transporte, trituración, clasificación y extensión del material y para el almacenamiento, transporte y distribución del agua, emulsión asfáltica y aditivo. Luego de que ya se tenga el material a estabilizar, cumpliendo con los respectivos ensayos se debe encontrar la cantidad óptima de agua de preenvuelta para el suelo o agregado por estabilizar. Se tiene en cuenta la humedad que dé un cubrimiento homogéneo del material y la humedad óptima del ensayo modificado de compactación. Si se van a estabilizar agregados pétreos el diseño de la mezcla se hace con el ensayo inmersión-compresión y cuando se usa suelo se hace con el de extrusión. La fórmula de trabajo obtenida debe arrojar: la identificación y la proporción (en peso seco) de cada fracción del material granular, la granulometría de cada fracción del material granular y la granulometría combinada, el porcentaje de agua para mezcla y compactación en relación con el peso seco del componente mineral, el porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión, en relación con el peso seco del componente mineral, el valor mínimo de la densidad por obtener y la resistencia de diseño.

En cuanto al proceso constructivo lo primero que se debe hacer es fijarse que la superficie esté adecuadamente lista para colocar sobre ella la base estabilizada con emulsión cuando la capa es adicional, de lo contrario si se va a usar el suelo existente este se debe escarificar hasta determinada profundidad para que cuando se compacte quede del espesor indicado en el diseño, teniendo en cuenta que los elementos de drenaje vial deben estar construidos previamente. La mezcla puede ser elaborada en la vía, en una planta central o en una planta caminera, luego se lleva al sitio o si ya se encuentra ahí se extiende y empieza la compactación logrando la densidad y espesor definido. Se deben evaluar secciones elaboradas bajo las mismas condiciones para estudiar su adecuado comportamiento, donde se determina el método definitivo de trabajo. Finalmente se permite el paso del tránsito vehicular cuando este no cause deformaciones en la superficie. Es



importante notar que este procedimiento de extensión y compactación solo se puede llevar a cabo cuando la temperatura ambiente sea mayor a 5°C.

#### **4.2.2. Bases estabilizadas con cemento.**

El cemento es empleado para estabilizar bases con el fin de mejorar propiedades como la resistencia mecánica, resistencia a las condiciones del clima y los indicadores de plasticidad o durabilidad del agregado. Además una gran ventaja que tiene es que permite el reciclado de pavimentos existentes y el uso de materiales que no cumplen con las especificaciones para ser usados como base granular. Pero para poder emplear bien este procedimiento es necesario determinar en un laboratorio la dosificación óptima del agregado, agua y cemento, así como la energía de compactación.

En el caso de una buena grava que no sea plástica se necesita una cantidad de cemento bajo para llegar a una resistencia determinada, pero su proceso constructivo es dispendioso porque genera una mezcla no muy homogénea, es por eso que se recomienda emplear esto en materiales con un valor de plasticidad alto.

El Artículo 351 de INVÍAS define que existen dos tipos de agregados para estabilizar una base con cemento, estos no deben estar contaminados con materia orgánica u otra sustancia y deben cumplir con los que se expone en la Tabla 45.

Tabla 45. Requisitos de los agregados para base tratada con cemento.

Característica	Norma de ensayo INV	Clase de agregado	
		Clase B	Clase A
<b>DUREZA, AGREGADO GRUESO (O)</b>			
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218		
-500 revoluciones		40	35
-100 revoluciones		8	7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30	25
Resistencia mecánica por el método de 10% de finos (tránsitos NT2 y NT3)	E-224		
-Valor en seco, mínimo (kN)		70	90
-Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	25	75
<b>DURABILIDAD (O)</b>			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos (sulfato de sodio y de magnesio), máximo (%)	E-220		
-Sulfato de sodio		12	12
-Sulfato de magnesio		18	18
<b>LIMPIEZA (F)</b>			
Límite líquido, máximo (%)	E-125	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	0	0
Equivalente de arena, máximo (%)	E-133	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (%)	E-235	10	10
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	1	1
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2
<b>GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS (F)</b>			
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	-	35
Caras fracturadas (una cara), mínimo (%)	E-227	50	60
<b>RESISTENCIA DEL MATERIAL (F)</b>			
CBR para una compactación del 95% del ensayo modificado de compactación (INV E - 142), medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo (%)	E-148	60	80

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

Tabla 45. (Continuación)

Característica	Norma de ensayo INV	Clase de agregado	
		Clase B	Clase B
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (O)			
Proporción de sulfatos del material combinado expresado como $SO_4^{=}$ , máximo (%)	E-233	0.5	
Reactividad álcali – agregado: concentración $SiO_2$ y reducción de alcalinidad R	E-234	$SiO_2 \leq R$ cuando $R \geq 70$ ; $SiO_2 \leq 35 + 0.5R$ cuando $R < 70$	

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013

En cuanto a los materiales empleados, el cemento es hidráulico de uso general según lo especificado en el Artículo 501 (suministro de cemento hidráulico), el agua debe ser potable, de lo contrario debe cumplir con un PH entre 5.5 y 8.0 y el contenido de sulfatos ( $SO_4^{=}$ ) debe ser máximo 1.0g/L, y el uso de aditivos debe ser empleado para obtener una trabajabilidad adecuada o mejorar las características de la mezcla.

Esta mezcla puede ser elaborada en una planta o una máquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio. Además se debe contar con elementos para la explotación de los agregados, el cargue, el transporte, la clasificación y la trituración, cuando ella se requiera.

El diseño de la mezcla se basa en una energía de referencia para la compactación de la capa, las probetas se deben elaborar con la humedad óptima y el peso unitario seco máximo con respecto a esta. Para este diseño se debe tener muy presente que el porcentaje de cemento no debe ser inferior a 4%. La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio debe incluir la granulometría del agregado, el

tipo y la marca de cemento empleado en el diseño, el contenido óptimo de cemento (CFT%), el valor de resistencia a compresión a los 7 días ( $R_d$ ), los porcentaje óptimos de agua para mezcla y compactación y el tipo y la dosificación de los aditivos por emplear, si se requieren.

El proceso constructivo solamente se puede llevar a cabo cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a 5°C. Inicialmente se deben construir secciones como ensayo para evaluar y mirar si cumplen con todo lo establecido previamente. Luego ya para comenzar como tal la construcción se debe chequear que la superficie que hará de soporte para la base estabilizada con cemento esté debidamente compactada y se cuente con la construcción de cunetas, desagües y filtros necesarios para el drenaje de la vía. Cuando ya el material esté extendido y conformado se debe revisar que exista una distribución granulométrica uniforme y sin segregaciones evidentes. Si está previamente establecido, se deben hacer juntas transversales a 2/3 del espesor de la capa antes de que esta sea compactada. Cuando ya se compacte la superficie esta debe quedar totalmente uniforme, y este proceso no podrá demorarse un tiempo mayor a dos horas desde el inicio de la mezcla, luego la superficie se debe mantener húmeda hasta que se aplique el riego de curado o hasta que se construya la capa superior. Para el curado de la superficie, es necesario protegerla de la pérdida de humedad durante 7 días, para lo cual se le aplica una película bituminosa con emulsión de rotura rápida CRR-1, o si no se hará un riego de aspersion. Todo esto se debe iniciar después de 24 horas de compactada la base estabilizada. La apertura al tránsito se puede hacer a los 7 días de terminado el proceso constructivo.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Análisis de granulometría en las mezclas asfálticas

El análisis se hace dejando constante el ligante para cada una de las mezclas y variando la granulometría para cada tipo de asfalto.

Tabla 46. Mezclas MPI con asfalto original 60/70.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25	4.6	17283	4.2	2,836	2,932	2,695
MDC 19	5.0	15277	4.1	2,84	2,9	2,695
MSC 25	4.7	14925	3.5	2,817	2,904	2,675

Tabla 47. Mezclas MPI con asfalto tipo IIa.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO IIA	4.9	17752	4.9	2,836	2,921	2,674
MDC 19 TIPO IIA	4.9	17752	4.9	2,84	2,913	2,661
MSC 25 TIPO IIA	5.2	15524	4.4	2,817	2,916	2,654

Tabla 48. Mezclas MPI con asfalto tipo IIb.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO IIB	4.5	15964	5	2,836	2,934	2,702
MDC 19 TIPO IIB	5.3	17052	5.8	2,84	2,906	2,642
MSC 25 TIPO IIB	5.2	13265	4.5	2,817	2,904	2,645

Tabla 49 .Mezclas MPI con asfalto tipo III.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO III	4.2	22950	4.2	2.836	2.902	2.69
MDC 19 TIPO III	5.3	13216	4.1	2.84	2.914	2.649
MSC 25 TIPO III	5	12585	4.8	2.817	2.914	2.663

Tabla 50. Mezclas MPI con asfalto tipo V.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MAM 25 TIPO V	4.6	22698	4.9	2,845	2,912	2,681

Tabla 51. Mezclas HQ con asfalto original 60/70.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 19	5.4	14427	4.3	2,84	2,923	2,655
MDC 25	4.4	15498	4.3	2,836	2,904	2,686
MSC 25	4.7	12413	3.9	2,817	2,905	2,673

Tabla 52. Mezclas HQ con asfalto tipo IIa.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO IIA	4.7	16607	5.3	2,836	2,896	2,666
MDC 19 TIPO IIA	5.3	16932	4.8	2,84	2,898	2,64
MSC 25 TIPO IIA	4.9	15541	4.7	2,817	2,88	2,644

Tabla 53. Mezclas HQ con asfalto tipo IIb.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO IIB	4.8	1666	5.4	2,836	2,902	2,666
MDC 19 TIPO IIB	5.1	16068	5.7	2,84	2,895	2,647
MSC 25 TIPO IIB	4.8	14096	5	2,817	2,899	2,663

Tabla 54. Mezclas HQ con asfalto tipo III.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MDC 25 TIPO III	4.7	16894	4.1	2,836	2,898	2,672
MDC 19 TIPO III	4.7	20306	5.0	2,84	2,904	2,672
MSC 25 TIPO II	4.7	15221	4.4	2,817	2,892	2,653

Tabla 55. Mezclas HQ con asfalto tipo V.

Tipo de mezcla	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm
MAM 25 TIPO V	4.8	21393	4.9	2,845	2,912	2,692

Se puede observar que de las 4 granulometrías estudiadas 3 de ellas tienen un tamaño máximo del agregado de 25mm (MDC-25, MSC-25 y MAM), lo que hace que necesiten una cantidad de asfalto moderada. Además la mezcla MDC-2 que es la más fina de todas, teniendo un tamaño máximo de agregado de 19mm, es en la que obtiene el valor más elevado de cantidad de asfalto óptimo, pues al tener partículas más finas también existe una mayor área específica y por consiguiente una mayor cantidad de asfalto que logre cubrir toda el área de cada partícula, es por eso que en la mayoría de los casos el valor observado de Pb sobrepasa los de las otras mezclas, lo cual sucede independientemente del asfalto que se esté usando, ya que este parámetro, de saber cuánto es la cantidad de asfalto óptimo, solo está dependiendo de la granulometría de cada muestra y son las mismas para cada asfalto evaluado (MPI y HQ)

Pero también vale la pena resaltar la importancia de la incidencia del tipo de mezcla (densa o semi-densa), pues dependiendo de la que se use los parámetros varían. Por ejemplo, las mezclas densas tienen mayor agregado fino y por ello una superficie específica mayor, lo cual hace que necesiten una cantidad más elevada de asfalto que las semi-densas para lograr envolver las partículas y obtener la misma cantidad de vacíos. Las mezclas densas al tener una menor cantidad de

agregado grueso son menos estables a las cargas impuestas, esta situación genera problemas con las deformaciones plásticas. Pero además como tienen una mayor cantidad de asfalto son mucho más flexibles y resistentes al envejecimiento que la semidensas. Es por ello que lo más común es emplear las mezclas densas como capas de rodadura, ya que al tener un porcentaje de vacíos tan bajo (menor o igual a 6%) hace que sea casi impermeable, protegiendo las demás capas inferiores.

## 5.2. Análisis de ligante en las mezclas asfálticas

El análisis se hace dejando constante la granulometría para cada una de las mezclas y variando el ligante para cada tipo de asfalto.

### MEZCLAS MPI Y HQ

Tabla 56. MDC 25

Tipo de asfalto	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm	Pbe [%]	Pba [%]
Original MPI	4.6	1723	4.22	2.836	2.932	2.695	3.57	1.076
Original HQ	4.4	15498	4.3	2.836	2.904	2.686	3.68	0.752
Tipo IIA MPI	4.9	1772	4.9	2.836	2.921	2.674	3.99	0.951
Tipo IIA HQ	4.7	16607	5.3	2.836	2.896	2.666	4.07	0.657
Tipo IIB MPI	4.5	15964	5.0	2.836	2.934	2.702	3.45	1.1
Tipo IIB HQ	4.8	166	5.4	2.836	2.902	2.666	4.11	0.729
Tipo III MPI	4.2	22950	4.23	2.836	2.902	2.69	3.5	0.722
Tipo III HQ	4.7	16894	4.1	2.836	2.892	2.653	4.02	0.609



Tabla 57. MDC 19

Tipo de asfalto	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm	Pbe [%]	Pba [%]
Original MPI	5.0	15277	4.06	2.84	2.9	2.695	4.3	0.734
Original HQ	5.4	14427	4.3	2.84	2.923	2.655	4.44	1.018
Tipo IIA MPI	4.9	17752	4.9	2.84	2.913	2.661	4.25	0.894
Tipo IIA HQ	5.3	16932	4.8	2.84	2.898	2.64	4.62	0.719
Tipo IIB MPI	5.3	17052	5.8	2.84	2.906	2.642	4.5	0.806
Tipo IIB HQ	5.1	16068	5.7	2.84	2.895	2.647	4.45	0.682
Tipo III MPI	5.3	13216	4.12	2.84	2.914	2.649	4.44	0.903
Tipo III HQ	4.7	20306	5	2.84	2.904	2.672	3.9	0.793

Tabla 58. MSC 25

Tipo de asfalto	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm	Pbe [%]	Pba [%]
Original MPI	4.7	14925	3.5	2.817	2.904	2.675	3.6	1.123
Original HQ	4.7	12413	3.9	2.817	2.905	2.673	3.6	1.146
Tipo IIA MPI	5.2	1554	4.41	2.817	2.916	2.654	3.99	1.272
Tipo IIA HQ	4.9	15541	4.7	2.817	2.88	2.644	4.1	0.844
Tipo IIB MPI	5.2	13265	4.5	2.817	2.904	2.645	4.13	1.123
Tipo IIB HQ	4.8	14096	5.0	2.817	2.899	2.663	4.08	1.075
Tipo III MPI	5.0	12585	4.82	2.817	2.914	2.663	3.82	1.244
Tipo III HQ	4.7	15221	4.4	2.817	2.892	2.653	3.75	0.992

Tabla 59. MAM

Tipo de asfalto	Pb [%]	Estabilidad [N]	Flujo [mm]	Gsb	Gse	Gmm	Pbe [%]	Pba [%]
Tipo V MPI	4.6	22698	4.85	2.845	2.912	2.681	3.82	0.82
Tipo V HQ	4.8	21393	4.9	2.845	2.912	2.692	3.61	0.828

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. En esta investigación se emplearon asfaltos modificados con polímeros y sin modificar, los primeros son los tipo 2A, tipo 2B, tipo 3 y tipo 5 y el segundo es el original o 60/70, el primer caso es una nueva técnica empleada con el fin de mejorar las

características mecánicas del asfalto, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Con el uso de uno u otro radica una gran diferencia en las mezclas, pues los que tienen polímeros son muy convenientes para incrementar el valor del flujo y así disminuir daños en la capa de rodadura, pues tienen la principal función de darle una mayor ductilidad a la mezcla, por eso se puede observar que para este tipo de asfaltos al artículo 450 de INVIAS acepta un valor de flujo mucho mayor, hasta 5mm, mientras con los otros no, es así como el valor de flujo con asfalto original en la mayoría de las mezclas no cumple con el valor exigido. Y claramente eso también influye en la estabilidad, ya que estos parámetros trabajan en conjunto, entonces para lo asfaltos con polímeros la estabilidad en algunos casos llega a dar un valor mayor que en los que trabajan con asfalto original.

### **5.3. Análisis del CBR en las bases y sub-bases.**

Para realizar el análisis del CBR en las bases y sub-bases se debe comparar el valor que propone la especificación, que dice que para bases debe ser mayor que 80% y para sub-bases mayor que 30%, con el valor del 98% del proctor modificado para las bases y del 95% para las sub-bases.

En este caso es evidente que todos los materiales granulares evaluados, con el fin de ser empleados como capas de base o sub-base, a lo que se les realizó un CBR tienen valores altos que los mínimos, lo cual hace que al construir capas de un pavimento con este material, estas en general tendrán un buen comportamiento.

## 6. CONCLUSIONES

- Durante todo el proceso de la pasantía se brindó activamente apoyo al equipo de laboratorio que participó en elaborar los capítulos de mezclas asfálticas y de bases y sub-bases, analizando los respectivos resultados encontrados en cada uno de los ensayos de laboratorio realizados.
- Se recopiló y organizó resultados de laboratorio, principalmente los obtenidos de las diferentes mezclas elaboradas.
- En general las propiedades de los asfaltos estudiados no varían mucho en cuanto a su procedencia, pero una diferencia bastante importante y que es de resaltar es la temperatura de mezclado y de compactación de cada una de estas, pues las de MPI son mayores que las de HQ, lo cual dificultó, específicamente, en el caso de los asfaltos modificados su elaboración, ya que requieren temperatura muy alta y las especificaciones brindadas por MPI no daban esa trabajabilidad.
- Antes de iniciar el diseño Marshall para lograr realizar briquetas en las cuales el porcentaje óptimo real de estas estuviera en el rango de los porcentajes de asfaltos evaluados se insinuó uno asumiendo una  $G_{se}$  obtenido del promedio de  $G_{sa}$  y  $G_{sb}$ , el cual sirvió como base para este diseño, haciendo más eficaz el procedimiento, ya que con seguridad el porcentaje de asfalto óptimo encontrado va tender a este valor, caso contrario con el método de Superpave pues el valor hallado con este se alejó mucho del óptimo, razón por la cual se optó por emplear el primero.
- Analizando las diferentes granulometrías que se emplearon en este estudio se puede notar claramente que la MDC 19 por ser la mezcla más fina de todas es la que requiere una mayor cantidad de asfalto y que sucede lo mismo con las mezclas densas, ya que en ambos casos estas tienen mayor área específica, y al ser así el valor de asfalto óptimo se eleva pues debe lograr cubrir completamente las partículas del agregado.

- La principal influencia del asfalto en las mezclas es la que tienen los polímeros en el valor del flujo, pues se obtienen valores mayores a los convencionales, lo cual es muy conveniente para tener un aprovechamiento efectivo del pavimento brindándole una mayor vida útil, pues se disminuye la fatiga y ahuellamiento de la capa de rodadura.
- La estabilización de bases con cemento y emulsión es favorable principalmente para obtener materiales de alta resistencia en ambos casos. Específicamente en la estabilización con cemento se logra evitar que se presenten deformaciones permanentes en la base, pues estructuralmente tienen una respuesta elástica ante las cargas del tránsito, diferente a la respuesta no lineal de las capas granulares y con asfalto se puede lograr estabilizar caminos de bajo tránsito y de manera económica.
- El CBR brinda una estimación de la resistencia del material evaluado, logrando que con este valor se determine en general la consistencia de una capa de pavimento. En este caso se lograron obtener valores de CBR altos, lo cual genera confianza en los materiales que se emplearon, ya que se terminan catalogando como de alta calidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Arce, Mario. Bases estabilizadas con cemento, algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes. 2011
2. Arenas Lozano, Hugo León. Teoría de los pavimentos. Popayán: Universidad del Cauca.
3. Cuaderno Materiales I, Universidad del Cauca, Facultad Ingeniería Civil.
4. Cuaderno Pavimentos, Universidad del Cauca, Facultad Ingeniería Civil.
5. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/caceres\\_m\\_ca/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo3.pdf)
6. <http://es.slideshare.net/jorgesilva26/base-granular-proceso-constructivo>
7. [http://www.canteradecombia.com/detalles\\_productos.php?codigo=5&categoria=5](http://www.canteradecombia.com/detalles_productos.php?codigo=5&categoria=5)
8. <http://www.emulsionesasfalticas.com/estabilizadosdoc.htm>
9. <http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml#ixzz3hTiBKRYd>
10. <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/2544/1/CuadroCausilCarlosAlfonso2012.pdf>
11. <http://163.178.106.6/sitio-nuevo/images/imodin-1.1-guia-de-usuario.pdf>
12. Instituto Nacional de Vías. Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carretera del Instituto Nacional de Vías. Bogotá. 2013.
13. Universidad del Cauca, facultad de ingeniería civil. Segundo informe técnico para la elaboración y actualización del Manual de Diseño de Pavimentos asfálticos de carreteras con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Popayán. 2014.

14. Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto de posgrado. Benavides Bastidas, Carlos Alberto. Apuntes del curso diseño de pavimentos. Popayán. 2007.

15. Universidad del Cauca, Instituto de Posgrado en Ingeniería Civil. Mejía Hernández, Walter de Jesús. Suelo-Cemento. Popayán. 2007.

16. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

## **8. ANEXOS**

- Resolución de aprobación de pasantía expedida por el Consejo de Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
- Certificado de cumplimiento de objetivos e intensidad horaria por parte de la Universidad del Cauca.