

**“OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL DISEÑO
DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE, CON CEMENTO ASFÁLTICO
NORMAL Y MODIFICADO, MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL,
EMPLEANDO AGREGADOS PÉTREOS DE LA CANTERA DE SAN
FRANCISCO, DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO Y ASFALTO DE
BARRANCABERMEJA”**

GABRIEL ALEXANDER BURBANO VILLARREAL

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

“OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE, CON CEMENTO ASFÁLTICO NORMAL Y MODIFICADO, MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL, EMPLEANDO AGREGADOS PÉTREOS DE LA CANTERA DE SAN FRANCISCO, DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO Y ASFALTO DE BARRANCABERMEJA”

GABRIEL ALEXANDER BURBANO VILLARREAL

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

**Director de Investigación
M.Sc. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del presidente de tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, Marzo de 2012

RESUMEN

Esta investigación consistió en la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla preparada con asfalto normal y otro modificado por la adición de fibras de polipropileno, para lo cual se utilizó materiales de la región que cumplen con las especificaciones de granulometría y demás fijadas por la norma INVIAS 2007.

Para lo anterior, se utilizó las características de los materiales de la cantera San Francisco, ubicada en el Departamento de Putumayo haciendo los ensayos pertinentes a los agregados minerales para nivel de tránsito pesado y tomando como referencia los ensayos entregados por el distribuidor sobre las características del asfalto de Barrancabermeja el cual es el asfalto utilizado en la región.

Con lo mencionado previamente se realizó una comparación de las propiedades obtenidas utilizando un asfalto normal, con otro modificado, en cuanto a la estabilidad, el flujo y una comparación de los precios de producción.

ABSTRACT

This investigation was to obtain the optimum percentage of asphalt cement to a prepared mixture with normal and asphalt modified by the addition of polypropylene fibers, which was used for materials of the region that meet specifications set by particle size and other INVIAS 2007 standard.

To use the above characteristics of the materials from the quarry San Francisco, located in the Department of Putumayo by the relevant tests for mineral aggregate level of heavy traffic and with reference to the tests provided by the distributor on the characteristics of asphalt Barrancabermeja which is the asphalt used in the region.

As mentioned previously carried out a comparison of properties obtained using a normal road surface, with another modified in terms of stability, flow and a comparison of production costs.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. CALIBRACIÓN DE LA PRENSA MARSHALL.....	18
1.1 AMPLIFICADORES OPERACIONALES	18
1.2 CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA	18
1.2.1 Compensación al error por temperatura.....	19
2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	24
2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	24
2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES	24
2.2.1 Ensayo de composición:	25
2.2.2 Ensayo de dureza:	30
2.2.3 Ensayo de Durabilidad:	34
2.2.4 Ensayos de limpieza	37
2.2.5 Geometría de las partículas:	40
2.2.6 Gravedad de las partículas:	42
3. DOSIFICACION DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MDC 2 (INV450 – 07).....	47
3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO.....	47
3.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	47
3.3 EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO (figura 10).....	48
3.4 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS.....	50
3.5 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO “bulk”	54
3.6 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO	56
3.7 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS.....	57
3.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA.	59
3.9 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	64
3.10 CRITERIOS QUE IMPONE LAS ESPECIFICACIONES PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	65

4.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO.....	66
4.2	EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO.....	67
4.3	PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS.....	67
4.4	DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO “bulk”.....	68
4.5	ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.	68
4.6	ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACIOS.....	68
4.7	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA	68
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYO CON EL MÉTODO MARSHALL CON ASFÁLTALO NORMAL Y MODIFICADO. ...	75
6.	ANÁLISIS DE COSTOS	76
7.	CONCLUSIONES.....	80
8.	RECOMENDACIONES.....	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1 Celda de carga FC23.....	19
Figura. 2 Curva característica de la celda de carga FC23	20
Figura. 3 Curva característica de amplificador de voltaje.....	21
Figura. 4 Visualización de los datos en modulo LCD.....	21
Figura. 5 Curva de calibración celda de carga laboratorio de suelos.....	22
Figura. 6 Curva de comparación prensa Marshall con datos sensor de carga. .	23
Figura. 7 Gráfica tamaño del tamiz vs: porcentaje retenido en cada tamiz.....	27
Figura. 8 Gráfica tamaño del tamiz vs: porcentaje retenido en cada tamiz.....	28
Figura. 9 Gráfica ajuste granulométrico	30
Figura. 10 Descripción máquina de compresión	50
Figura. 11 Gráfica peso unitario.....	61
Figura. 12 Gráfica estabilidad	61
Figura. 13 Gráfica flujo.....	62
Figura. 14 Gráfica porcentaje vacíos totales muestra	62
Figura. 15 Vacíos en el agregado	63
Figura. 16 Vacíos llenos de asfalto	63
Figura. 17 Gráfica llenante mineral	64
Figura. 18 Gráfica peso unitario.....	70
Figura. 19 Gráfica estabilidad	70
Figura. 20 Gráfica flujo.....	71
Figura. 21 Gráfica porcentaje vacíos totales muestra.....	71
Figura. 22 Vacíos en el agregado	72
Figura. 23 Vacíos llenos de asfalto	72
Figura. 24 Relación llenante-ligante.....	73

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1	Datos para la calibración por software.....	22
Tabla 2	Gradación material grueso; peso retenido en cada tamiz.....	26
Tabla 3	Gradación material fino, peso retenido en cada tamiz.....	27
Tabla 4	Ajuste granulométrico para mezclas asfálticas.....	29
Tabla 5	Desgaste en la máquina de los ángeles.....	31
Tabla 6	Gradación para ensayo micro Deval.....	33
Tabla 7	Resultados ensayo Micro Deval.....	34
Tabla 8	Resultados ensayo solidez en sulfato de sodio agregado fino.....	36
Tabla 9	Resultados ensayo solidez en sulfato de magnesio agregado fino.....	36
Tabla 10	Resultados ensayo solidez en sulfato de sodio agregado grueso.....	36
Tabla 11	Resultados ensayo solidez en sulfato de magnesio agregado grueso..	37
Tabla 12	Resultados ensayo de equivalente de arena en agregado fino.....	38
Tabla 13	Resultados ensayo caras fracturadas.....	40
Tabla 14	Resultados ensayo planas y alargadas.....	42
Tabla 15	Resultados gravedad específica agregado grueso.....	44
Tabla 16	Resultados gravedad específica agregado fino.....	45
Tabla 17	Tabla de resumen de resultados materiales pétreos.....	46
Tabla 18	Temperaturas óptimas de los asfaltos colombianos.....	51
Tabla 19	Número de golpes por cara según la intensidad del transito.....	51
Tabla 20	Resultados método Marshall.....	58
Tabla 21	Resumen resultados ensayo Marshall por el método del instituto Nacional del Asfalto.....	64
Tabla 22	Criterios de diseño para mezclas asfálticas en cliente según el método Marshall (Art 400.2.4. INV-07).....	65
Tabla 23	Resultados método Marshall modificado.....	69
Tabla 24	Resumen resultados ensayo Marshall por el método del instituto Nacional del Asfalto.....	73

Tabla 25	Comparación resultados Marshall con asfalto normal y modificado.....	74
Tabla 26	Precios de una mezcla densa en caliente con asfalto convencional.....	76
Tabla 27	Precios de una mezcla densa en caliente con asfalto.....	78

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto. 1	Cuarteo material24
Foto. 2	Cuarteo material tomando muestra final25
Foto. 3	Agregados después de granulometría26
Foto. 4	Muestra para ensayo de desgaste30
Foto. 5	Ensayo resistencia al desgaste.....31
Foto. 6	Muestra para ensayo Micro Deval32
Foto. 7	Máquina para ensayo Micro Deval.....32
Foto. 8 .	Lavada muestra ensayo.....33
Foto. 9	Retirando balines con imán33
Foto. 10	Ensayo solidez sulfato de magnesio.....35
Foto. 11	Ensayo solidez sulfato de sodio.....35
Foto. 12	Floculante en cilindro plástico graduado.....38
Foto. 13	Ensayo equivalente de arena38
Foto. 14	Ensayo contenido de impurezas39
Foto. 15	Ensayo partículas fracturadas mecánicamente.40
Foto. 16	Medida plana41
Foto. 17	Verificación relación 1 a 5.....41
Foto. 18	Muestra grueso y fino.43
Foto. 19	Determinación de humedad a. fino43
Foto. 20	Muestra de a. fino en matraz.44
Foto. 21	Extracción del aire en baño maría44
Foto. 22	Prensa Marshall49
Foto. 23	Mordaza para ensayo Marshall.....49
Foto. 24	Calentamiento material pétreo51
Foto. 25	Calentamiento asfalto51
Foto. 26	Material pétreo para mezcla.....52
Foto. 27	Adición del asfalto al material pétreo.52

Foto. 28	Peso de material pétreo y asfalto.....	52
Foto. 29	Mezcla del asfalto y material pétreo.....	53
Foto. 30	Temperatura de mezclado	53
Foto. 31	Adición de mezcla al molde de compactación con mezcla	53
Foto. 32	Compactación briqueta y Briqueta terminada	54
Foto. 33	Peso de la muestra en el aire	55
Foto. 34	Peso de la muestra sumergida	56
Foto. 35	Ubicando molde para ensayo de compactación	56
Foto. 36	Colocación briqueta en molde para estabilidad y flujo	57
Foto. 37	Mezcla de polipropileno para realizar las briquetas.	67
Foto. 38	Temperatura para la compactación;Briquetas con asfalto modificado	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (Rice)	85
ANEXO B ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES	89
ANEXO C CARACTERÍSTICAS ASFALTO BARRANCABERMEJA	102
ANEXO D RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO CON EL ENSAYO MARSHALL POR EL MÉTODO DE LA NAPA	107
ANEXO E DETERMINACIÓN DE TEMPERATURAS DE COMPACTACIÓN Y MEZCLADO EN BASE A LA CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA	110

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de grado se presentan los resultados de la investigación realizada en el programa de ingeniería civil en el área de pavimentos, con el fin de verificar las características de los materiales de la cantera San Francisco del departamento del Putumayo y así poder verificar si cumplen con las necesidades que exige la norma en el artículo 400 INVIAS 2007 referente a mezclas densas en caliente. Además se utilizó fibras de polipropileno para reforzar las mezclas asfálticas mediante el método Marshall.

En la primera parte de esta investigación se presenta la verificación, en cuanto a la precisión de la prensa Marshall para lograr garantizar resultados exitosos y confiables dentro del laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.

En el cumplimiento de la segunda parte de la investigación se procede a realizar un análisis granulométrico físico-mecánico de los materiales de la cantera San Francisco, teniendo en cuenta el cumplimiento de las especificaciones técnicas dadas en la tabla 400.1 (c) del artículo 400 INVIAS 2007 esto garantiza que los materiales granulares sean los adecuados, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de una superficie de rodamiento de una vía en su vida útil.

A continuación, se desarrolla un análisis de estabilidad y flujo y, densidad y vacíos, los cuales son necesarios para determinar el óptimo contenido de asfalto utilizando los materiales pétreos de la cantera San Francisco y asfalto de la refinería de Barrancabermeja, el cual es el más utilizado en el departamento de Nariño, a través del método Marshall, el cual determina un contenido óptimo de asfalto para unas granulometrías dadas y una mezcla de agregados.

Sabiendo que la adición de fibras de polipropileno al ligante asfáltico mejoran las características de la mezcla, se buscó determinar una comparación entre un asfalto normal y otro modificado con fibras de polipropileno para observar las diferentes propiedades que presentan en cuanto a valores estabilidad, flujo y una evaluación de costos.

JUSTIFICACIÓN

El diseño de mezclas asfálticas cuenta con diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; el más utilizado y conocido en Colombia es el método Marshall, por la carencia de la aplicación de este método, ha llevado a fallas en el desempeño de la carpeta asfáltica en la realidad, también se presentan diferencias entre el diseño y los resultados en construcción por la falta de control en obra.

Después de observar la importancia del diseño de mezclas asfálticas, se dedujo la importancia de la caracterización que a través de ensayos muestren que las propiedades de los materiales granulares sean las adecuadas, ya que de esto depende en gran parte el desempeño de la superficie de rodamiento de una vía y su vida útil.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Determinar y comparar el contenido óptimo de ligante asfáltico para una mezcla densa en caliente con asfalto normal y asfalto modificado con fibras de polipropileno, así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de los agregados de la cantera “San Francisco, Departamento de Putumayo”, para que cumpla con las especificaciones existentes de acuerdo a la INVIAS 2007.

Objetivos específicos:

- Implementar y calibrar del equipo para el desarrollo del ensayo Marshall.
- Caracterizar el agregado de la Cantera “San Francisco, Departamento de Putumayo” según la Norma INV E-400.2.1 para mezclas asfálticas densas en caliente para pavimentos.
- Realizar el diseño Marshall determinando el contenido óptimo de ligante asfáltico para una mezcla densa en caliente con asfalto normal y asfalto modificado con fibras de polipropileno, utilizando el procedimiento del Instituto Nacional del Asfalto.

- Comparar la estabilidad y el flujo de los dos tipos de mezcla (MDC-2) con asfalto normal y (MDC-2) con asfalto modificado con fibras de polipropileno extraídas de sacos rojos tejidos, usados generalmente en el transporte agrícola.
- Realizar un análisis de Costos de la mezcla con asfalto normal vs. El costos de la mezcla con asfalto modificado (economía).

1. CALIBRACIÓN DE LA PRENSA MARSHALL

La calibración es un proceso mediante el cual se garantiza que los resultados encontrados son confiables, pues cuando el equipo cumple con las especificaciones muestran características del material verdaderas con las cuales se obtienen óptimos diseños a un mejor rendimiento de la producción.

En el ensayo Marshall estudiado en nuestro trabajo de grado, uno de los equipos más necesarios es la prensa la cual está involucrada en el estudio de la estabilidad y el flujo de la mezclas densa en caliente de asfalto, los cuales son uno de los parámetros más importantes para la evaluación final de la mezcla encontrando el porcentaje óptimo de asfalto. Por lo anterior, fue en este equipo en el cual se realizó la calibración para que de esta manera los resultados sean precisos, fiables y con total trazabilidad.

Por otra parte con la calibración en la prensa se busca optimizar el desarrollo de la investigación disminuyendo la incertidumbre y llevando a resultados precisos, reducción de costes en el desarrollo y la fabricación, y aumento de la rentabilidad.

Para la verificar la calibración de la prensa Marshall, se utilizo un amplificador operacional, por lo general, este aparato se utiliza para proporcionar cambios en la amplitud de voltaje, pero en este caso se lo utiliza para comparar los resultados dados por la prensa encontrada en la universidad de Nariño y una celda de carga la cual ya esta calibrada.

1.1 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Un amplificador operacional, es un amplificador diferencial de muy alta ganancia que posee alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Por lo general, el amplificador operacional se utiliza para proporcionar cambios en la amplitud de voltaje (amplitud y polaridad), en osciladores, circuitos de filtro y muchos tipos de circuitos de instrumentación.

1.2 CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA

Para lograr la calibración exitosa de la celda de carga, presente en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, se hace uso de otra celda, con referencia FC23. Para seleccionar el sensor más óptimo para la variable de medición, se tomó en cuenta factores como el tamaño, tiempos de respuesta, rango de funcionamiento, peso, voltaje de funcionamiento, etc. Todo esto para lograr la máxima eficacia en el censado.

Se considera óptima la celda de carga FC23, debido a su alto rango de trabajo (906 Kgf), además de sus características y funciones que se necesitan para censar fuerza y lograr la calibración de la otra celda.

Características Celda FC23 (figura 1).

- Bajo ruido.
- Sensor Robusto, con alto rango de capacidad.
- Alta confiabilidad.
- Tiempo de respuesta rápido.
- Ciclo largo de expectativa de vida.
- Baja deflexión.
- Diseño botón de carga compacto.
- Empaquetado industrial estándar.



Figura. 1 Celda de carga FC23

Es un transductor utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica que en conjunto con el amplificador muestran una curva de calibración (figura 3) comparada con la curva característica del sensor (figura 2) en un compilador de programación del micro procesador da el resultado buscado.

1.2.1 Compensación al error por temperatura. Viene definido por el fabricante. Esta celda está compensada en temperatura en un rango de 0°C a 50°C. por lo tanto no hay necesidad de realizar un acondicionamiento electrónico extra para este factor; considerando que en la ciudad de Pasto, el promedio de temperatura está entre los 18°C y 20°C, promedio muy inferior a los 50°C que compensa la celda.

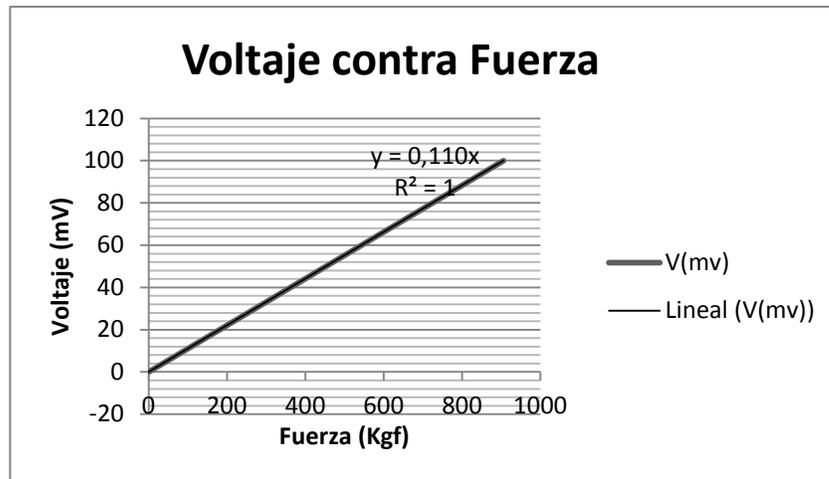


Figura. 2 Curva característica de la celda de carga FC23

En donde se puede apreciar la función característica para conversión de voltaje a fuerza de la celda de carga FC23, es

$$F = \frac{V}{0.110}$$

Dónde:

V = Valor de voltaje

F = Fuerza

x = Pendiente obtenida de los datos de calibración.

Dada la amplificación, el nuevo rango de voltajes a la salida del amplificador de instrumentación vendría dado por la ecuación.

$$F = \frac{V}{0,005}$$

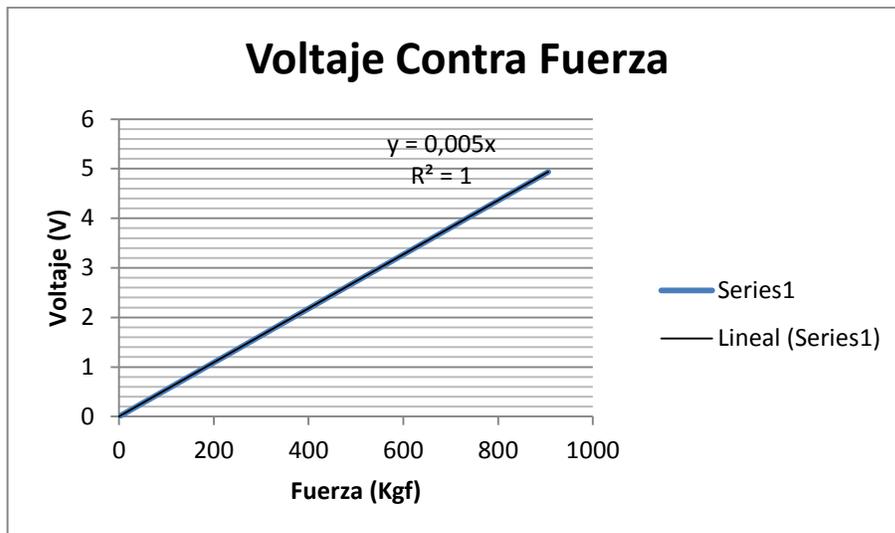


Figura. 3 Curva característica de amplificador de voltaje.

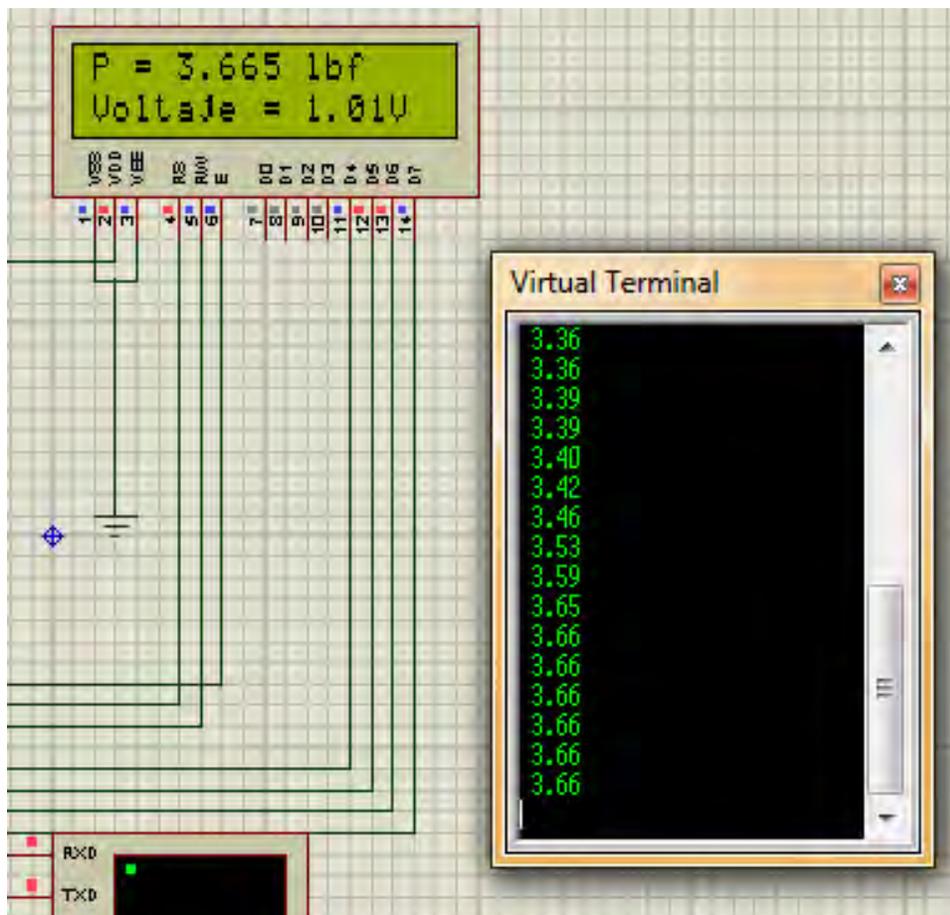


Figura. 4 Visualización de los datos en modulo LCD

Los datos que se obtienen en el módulo LCD son el valor de la fuerza censada en un rango de 0 a 4.9 voltios; valor que se convierte a número y se somete a la función de calibración del sensor que se presenta a continuación:

La calibración fue realizada en una máquina de compresión que posee la celda de carga con rango de 11000 lbf.

Después de la calibración del sensor los valores que se obtuvieron fueron:

Tabla 1 Datos para la calibración por software.

V (v)	F (lbf)
0.03	14
0.35	143
0.70	285
1.09	449
1.53	625
1.98	811
2.45	999
2.98	1212
3.49	1415

La ecuación obtenida queda por tanto:

$$F = \frac{V}{0.002465}$$

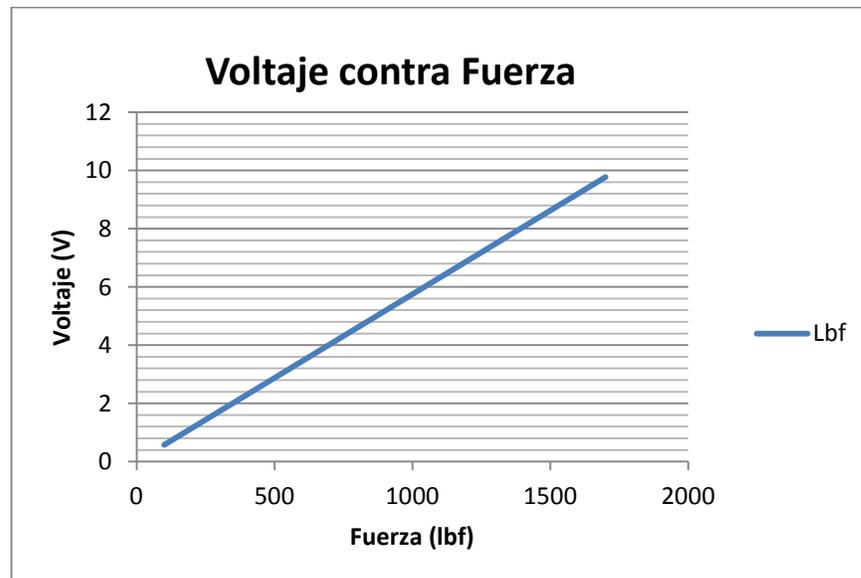


Figura. 5 Curva de calibración celda de carga laboratorio de suelos.

Se muestran una curva de calibración de la prensa Marshall comparada con la curva característica del sensor, donde se puede apreciar que sigue la misma tendencia y hay poca variabilidad.

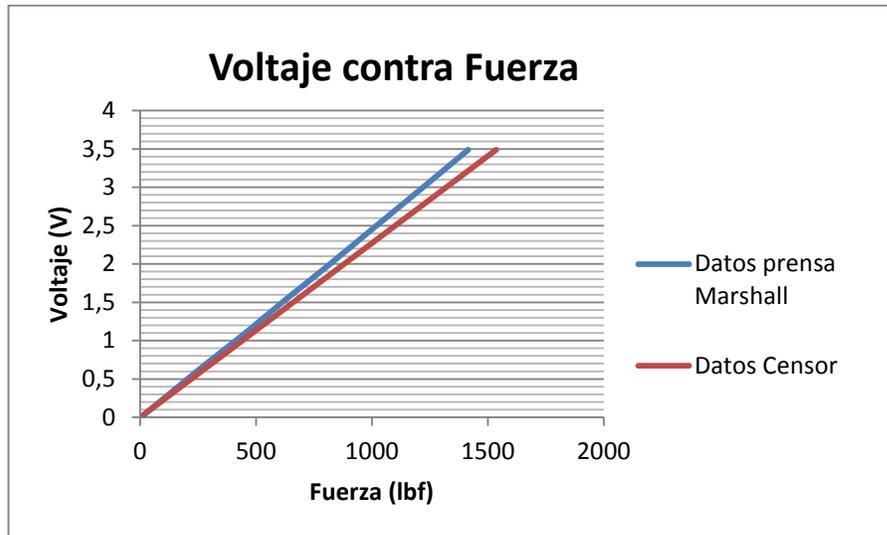


Figura. 6 Curva de comparación prensa Marshall con datos sensor de carga.

2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL

La obtención del agregado procede de la cantera San Francisco ubicada en el Departamento de Putumayo.

2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES

Para la realización de los ensayos se toma una muestra representativa a la cual se le da un buen mezclado para homogeneizarla y así poder separar la cantidad necesaria a través del método del cuarteo (foto 1 y 2).



Foto. 1 Cuarteo material



Foto. 2 Cuarteo material tomando muestra final

2.2.1 Ensayo de composición. Granulometría. (INV E-213- 07). Tiene por objetivo la separación por tamaño de las partículas de suelo para su posterior utilización.

La granulometría consiste en tomar una muestra representativa de material que se va a utilizar en la fabricación del concreto asfáltico, la cual debe estar seca para que esta no forme grumos, antes de empezar se pesa el material y luego se hace pasar por una serie de tamices o mallas que están ordenadas de mayor a menor abertura, con una relación de aberturas de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz, se coloca el material en la pila de tamices y se lo agita para que el material pueda pasar hasta el fondo, al terminar la tamizada se empieza a pesar el material retenido en cada tamiz y se anota en el respectivo formato, esto se realiza tanto para la grava como para la arena. Ver los formatos en el anexo B.

Las curvas granulométricas son una representación gráfica de la distribución de los tamices del material; las gráficas están compuestas por el porcentaje que pasa en cada tamices en las ordenadas (escala aritmética) y el tamaño del tamiz en las abscisas (en escala logarítmica). Con esta gráfica podemos saber sobre la gradación de los tamaños del material (foto 3).



Foto. 3 Agregados después de granulometría

Tabla 2 Gradación material grueso; peso retenido en cada tamiz

Peso inicial	25273		Peso lavado		
Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	10786,00	42,68	42,68	57,32
3/8	9,525	5410,00	21,41	64,08	35,92
1/4	6,3	4177,00	16,53	80,61	19,39
N 4	4,75	1158,00	4,58	85,19	14,81
N 10	2	862,00	3,41	88,60	11,40
N 40	0,425	900,00	3,56	92,17	7,83
N 80	0,18	606,00	2,40	94,56	5,44
N 200	0,075	718,00	2,84	97,40	2,60
P-200		656,0	2,60	100,00	0,00

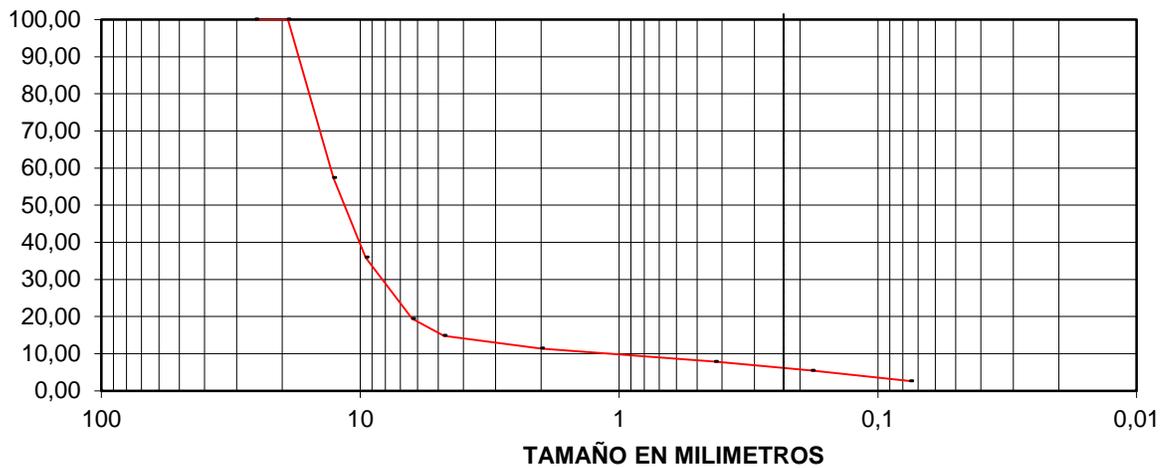


Figura. 7 Gráfica tamaño del tamiz vs: porcentaje retenido en cada tamiz

Tabla 3 Gradación material fino, peso retenido en cada tamiz

Peso inicial	3351		Peso lavado	3061	
Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	24,20	0,72	0,72	99,28
4	4,75	592,20	17,67	18,39	81,61
10	2	1046,60	31,23	49,63	50,37
40	0,425	925,20	27,61	77,24	22,76
80	0,18	227,20	6,78	84,02	15,98
200	0,075	214,40	6,40	90,41	9,59
P-200		24,0	0,72	91,13	8,87



Figura. 8 Gráfica tamaño del tamiz vs: porcentaje retenido en cada tamiz

Tabla 4 Ajuste granulométrico para mezclas asfálticas

FRACCIÓN : AGREGADO GRUESO				FRACCIÓN : AGREGADO FINO				FRACCIÓN : LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3/4	0,0	0,0	100,0	3/4	0,0	0,0	100,0	3/4	0,0	0,0	100,0
1/2	10786,0	42,7	57,3	1/2	0,0	0,0	100,0	1/2	0,0	0,0	100,0
3/8	5410,0	21,4	35,9	3/8	24,2	0,8	99,2	3/8	0,0	0,0	100,0
No.4	5335,0	21,1	14,8	No.4	592,2	19,4	79,8	No.4	0,0	0,0	100,0
No.10	862,0	3,4	11,4	No.10	1046,6	34,3	45,5	No.10	0,0	0,0	100,0
No.40	900,0	3,6	7,8	No.40	925,2	30,3	15,2	No.40	64,8	64,8	35,2
No.80	606,0	2,4	5,4	No.80	227,2	7,4	7,8	No.80	11,1	11,1	24,2
No.200	718,0	2,8	2,6	No.200	214,4	7,0	0,8	No.200	13,7	13,7	10,4
PASA 200	656,0	2,6		PASA 200	24,0	0,8		PASA 200	10,4	10,4	
	25273,0				3053,8				100,00		

TAMIZ	% AGREGADO GRUESO	% AGREGADO FINO	% LA VICTORIA 3/4"	ABERTURA DE TAMICES (mm)	FORMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007	
	44%	30%	26%				
¾	44,0	30,0	26,0	19,1	100,0	100	100,0
½	25,2	30,0	26,0	12,7	81,2	80	100,0
3/8	15,8	29,8	26,0	9,5	71,6	70	88,0
No.4	6,5	23,9	26,0	4,8	56,5	49	65,0
No.10	5,0	13,7	26,0	2,0	44,7	29	45,0
No.40	3,4	4,6	9,2	0,40	17,2	14	25,0
No.80	2,4	2,3	6,3	0,18	11,0	8	17,0
No.200	1,1	0,2	2,7	0,075	4,1	4	8,0

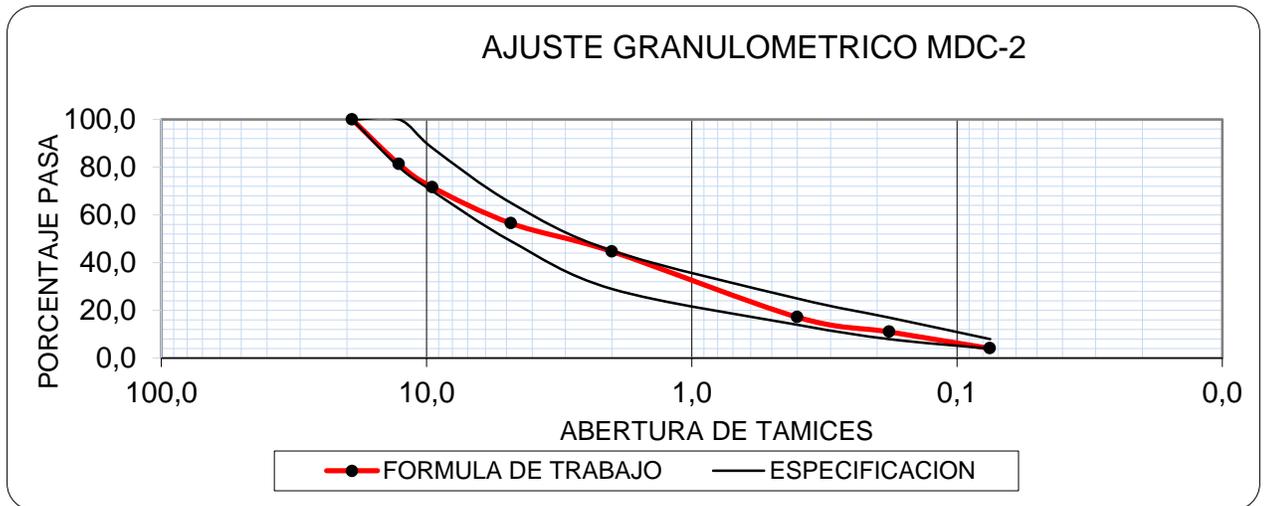


Figura. 9 Gráfica ajuste granulométrico

2.2.2 Ensayo de dureza:

Desgaste máquina de los Ángeles (INV E-219-07).

Su objetivo es determinar la resistencia de las partículas del agregado grueso al desgaste. Este ensayo ha servido como referente y un indicador de la calidad relativa o a la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones, los resultados brindan comparaciones entre fuentes de origen, composición o estructura (foto 4 y 5).



Foto. 4 Muestra para ensayo de desgaste



Foto. 5 Ensayo resistencia al desgaste

Tabla 5 Desgaste en la máquina de los ángeles

ENSAYO No		1	2	3
Gradación utilizada		B	B	B
No de revoluciones		500	500	500
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	5000	5000	5000
Peso de la muestra después (gr)	Pf	3882	3774	3856
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$	22,36	24,52	22,88
Coeficiente de uniformidad		9,11	9,11	9,11

Micro – Deval (INV E-238-07).

Su objetivo es determinar la resistencia a la abrasión y durabilidad de los agregados pétreos, por la acción combinada de la molienda y la abrasión con bolas de acero en presencia de agua ya que muchos de los agregados son más débiles húmedos que secos, gracias a esto se debe utilizar esta información útil para juzgar la resistencia desgaste/abrasión y durabilidad/solidez y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información de este tipo de comportamiento (foto 6,7,8 y 9).



Foto. 6 Muestra para ensayo Micro Deval



Foto. 7 Máquina para ensayo Micro Deval



Foto. 8 . Lavada muestra ensayo



Foto. 9 Retirando balines con imán

Tabla 6 Gradación para ensayo micro Deval

Gradación Tabla 1		
Pasante Tamiz	Retenido Tamiz	Masa g
3/4"	5/8"	375,6
5/8"	1/2"	374,9
1/2"	3/8"	749,9
Σ		1500.4

Tabla 7 Resultados ensayo Micro Deval

ENSAYO No		1
Gradación utilizada		TABLA 1
No de revoluciones		12000 \pm 100
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	1500,4
Peso de la muestra después (gr)	Pf	1280,2
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$	14,68

2.2.3 Ensayo de Durabilidad. Perdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o magnesio (INV E- 220-07). Determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, seguido por un secado al horno para deshidratar completa o parcialmente la sal que se encuentra en los poros permeables del material, gracias a esto se puede obtener información para determinar la calidad de los agregados en condiciones atmosféricas fuertes.

La sanidad se refiere a la capacidad de los agregados para soportar cambios de volumen por la acción del intemperismo esta capacidad depende de la forma, textura, procedencia, granulometría y porosidad.

Este ensayo pretende reproducir rápidamente los procesos de calentamiento, enfriamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo.

El objeto de utilizar sulfato en este ensayo es para que se llene en los poros y en el momento de evaporarse cristaliza el agua por el secado, creando presiones internas que se asemejan a la acción del congelamiento del agua (foto 10 y 11)



Foto. 10 Ensayo solidez sulfato de magnesio



Foto. 11 Ensayo solidez sulfato de sodio

Tabla 8 Resultados ensayo solidez en sulfato de sodio agregado fino

Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometría	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	83.5	16.5	17.67	3.3
No 4	No 8	100	87.5	12.5	31.23	4.4
No 8	No 16	100	92.5	7.5	27.61	2.3
No 16	No 30	100	91.5	8.5	6.78	0.6
No 30	No 50	100	96	4	6.40	0.3
PERDIDA TOTAL CORREGIDA Σ						10.8

Tabla 9 Resultados ensayo solidez en sulfato de magnesio agregado fino

Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometría	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	95.3	4.7	17.67	0.9
No 4	No 8	100	96.7	3.3	31.23	1.1
No 8	No 16	100	95.1	4.9	27.61	1.5
No 16	No 30	100	89.3	10.7	6.78	0.8
No 30	No 50	100	88.6	11.4	6.40	0.8
PERDIDA TOTAL CORREGIDA Σ						5.2

Tabla 10 Resultados ensayo solidez en sulfato de sodio agregado grueso

Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometría	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/4"	1/2"	669.3	649.8	2.9	42.68	1.24
1/2"	3/8"	330	271	17.9	21.41	3.83
3/8"	No 4	300	219.2	26.9	21.11	5.69
Pérdida total corregida Σ						10.76

Tabla 11 Resultados ensayo solidez en sulfato de magnesio agregado grueso

Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometría	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/4"	1/2"	670.8	596.4	11.1	42.68	4.73
1/2"	3/8"	330	311	5.8	21.41	1.23
3/8"	No 4	300	274.9	8.4	21.11	1.77
Pérdida total corregida Σ						7.73

2.2.4 Ensayos de limpieza:

Índice de plasticidad (INV E-125 y E-126-07).

No se realiza este ensayo para esta clase de suelos, ya que el índice de plasticidad se realiza a suelos finos y cohesivos.

Equivalente de arena (INV E- 133- 07).

Este ensayo produce un valor empírico de la cantidad relativa, finura y carácter del material arcilloso presente en la muestra de agregado fino.

Este ensayo se realiza adicionando a un volumen determinado de suelo una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro plástico graduado, y agitándolos para que las partículas de arena pierdan su cobertura arcillosa. La muestra es entonces irrigada, usando una cantidad adicional de solución, para forzar al material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena.

Después de un periodo de sedimentación se determinan las alturas de las arcillas floculadas y de la arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de la arena y la altura de la arcilla, expresada en porcentaje (foto 12 y 13).



Foto. 12 Floculante en cilindro plástico graduado



Foto. 13 Ensayo equivalente de arena

Tabla 12 Resultados ensayo de equivalente de arena en agregado fino

ENSAYO N°		1			2		
PROBETA	No.	1	2	3	1	2	3
LECTURA ARCILLA	(mm)	145.0	147.0	154.0	143.0	123.0	143.0
LECTURA ARENA	(mm)	89.0	100.0	94.0	97.0	81.0	82.0
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	61	68.0	61	68	65.9	57
PROMEDIO	(%)	63			64		

Valor de azul de Metileno (INV E- 235- 07).

Este ensayo se emplea para estimar la cantidad de arcillas dañinas y materia orgánica presente en un agregado. Un valor significativo indica una gran cantidad de arcilla o de materia orgánica presentes en la muestra.

Este método no es necesario, ya que la norma indica que si la prueba de contenido de arena no satisface los requisitos de los agregados pétreos para tratamientos, lechadas y mezclas bituminosas nivel de tránsito NT3 de la tabla 400.1(c) de estas especificaciones, pero es igual o superior a 40%, de deberá determinar el valor de azul de metileno y este resultado deberá ser menor o igual a diez (10)

Contenido de impurezas (INV E -237-07).

Este procedimiento se realiza para determinar la limpieza superficial de los agregados, con tamaños superiores a 4.75 mm (nº 4) utilizados en la construcción de vías.

Este proceso se realiza separando mediante lavado en un tamiz (500 µm nº 35) las partículas de 0.5 mm adheridas en la superficie de los agregados gruesos, las cuales se las considera como impurezas. Se las lava hasta que el agua salga clara se debe tener en cuenta que no haya pérdidas de material por fuera del tamiz, la cantidad retenida en el tamiz de lavado se recupera y se seca al horno a una temperatura de 110± 5° C hasta la masa constante de 1gr, se vuelve a pasar por el tamiz durante 1 min, recuperando la totalidad del material retenido y se determina la masa pesándola (foto 14)



Foto. 14 Ensayo contenido de impurezas

2.2.5 Geometría de las partículas. Partículas fracturadas mecánicamente (INV E-227-07). Uno de los propósitos de este requisito es incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezcla del agregado ligadas o no ligadas, otro propósito es dar estabilidad a los agregados y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento (foto 15).



Foto. 15 Ensayo partículas fracturadas mecánicamente.

Tabla 13 Resultados ensayo caras fracturadas

TAMIZ		PESO DE LA	PESO MATERIAL	PORCENT. CON	PORCENT. RETENIDO	CÁLCULO FINAL
		MUESTRA	CON CARAS FRAC.	CARAS FRACTUR.	GRADAC. ORIGINAL	
PASA	RETENIDO	(Grs)	(Grs)	(B/A X 100)	(%)	(C X D)
		A	B	C	D	E
3/4"	1/2"	1,200.0	1,078.3	89.9	57.32	5,150.9
1/2"	3/8"	300.0	275.8	91.9	35.92	3,301.9
TOTAL		1,500.0	1,354.1	181.8	93.2	8,452.7

Partículas planas y alargadas (INV E-240-07).

Este método determina el porcentaje de partículas planas y alargadas o planas y alargadas, en un agregado grueso, esto con el fin de no tener proporciones elevadas de esta clase de material por que pueden interferir en la compactación y dificultar la colocación del material.

Se mide partículas individuales de agregado de una fracción de tamaño específico de tamiz para determinar las relaciones de ancho/espesor, longitud/ancho o longitud /espesor (foto 16 y 17).



Foto. 16 Medida plana



Foto. 17 Verificación relación 1 a 5.

Tabla 14 Resultados ensayo planas y alargadas.

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	CANTIDAD MATERIAL	PORCENTAJE
		MUESTRA	Part. Aplanadas y alargadas	Part. Aplanadas y alargadas
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (Und.)	B (Und.)	C= (B/Ax100)
3/4"	1/2"	100.0	5	5.0
1/2"	3/8"	100.0	2	2.0
PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS (5:1)				3.5

2.2.6 Gravedad de las partículas. Gravedad específica y absorción (INV E- 222-07 - INV E- 223-07). Con estos métodos se determina la gravedad específica bulk, bulk saturada y superficialmente seca y aparente así como la absorción de agregado fino y grueso después de que los agregados han estado sumergidos en agua durante 15 horas(foto 18,19,20 y 21), para mejor comprensión utilizamos estas definiciones:

- **Gravedad específica:** relación entre la masa o peso en el aire de un volumen de sólido y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida
- **Gravedad específica bulk aparente:** relación entre el peso en el aire del volumen impermeable del agregado a una determinada temperatura y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de gas.
- **Gravedad específica bulk:** es la relación entre el peso en el aire del volumen del agregado incluyendo los vacíos permeables e impermeables de sus partículas pero no los vacíos entre partículas a una determinada temperatura y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- **Gravedad específica bulk en condición saturada y superficialmente seca(sss):** es la relación entre el peso en el aire en condición saturada y superficialmente seca incluyendo el peso del agua que ocupa los vacíos de las partículas luego de inmersión durante 15 horas, y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- **Absorción:** es la masa de agua que llena los poros permeables de las partículas de agregado sin incluir el agua adherida a la superficie de las

mismas, expresada como porcentaje de la masa del agregado, después de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$



Foto. 18 Muestra grueso y fino.



Foto. 19 Determinación de humedad a. fino



Foto. 20 Muestra de a. fino en matraz.



Foto. 21 Extracción del aire en baño maría

Tabla 15 Resultados gravedad específica agregado grueso

ENSAYO No		1	2	3	4	Promedio
Peso de la muestra sss W _{sss}	gr	1657.9	1685.3	1305.5	1469.2	
Peso de la muestra en el agua W _a	gr	1060.4	1080.8	818.3	941	
Peso de la muestra seca W _s	gr	1636.5	1663.5	1287	1448	
W _s - W _a	gr	576.1	582.7	468.7	507	
W _{sss} - W _a	gr	597.5	604.5	487.2	528.2	
Densidad Nominal = $W_s / (W_s - W_a)$	gr/cm ³	2.841	2.855	2.746	2.856	2.814
Densidad Aparente = $W_s / (W_{sss} - W_a)$	gr/cm ³	2.739	2.752	2.642	2.741	2.718

Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / (W_{sss} - W_a)$	gr/cm ³	2.775	2.788	2.680	2.782	2.756
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	1.308	1.310	1.694	1.464	1.444
Peso canastilla	gr	133.3	147.6	141	148.6	
peso canastilla + muestra sss	gr	1791.2	1832.9	1446.5	1617.8	
peso muestra sss	gr	1657.9	1685.3	1305.5	1469.2	
peso canastilla + muestra en el agua	gr	1108.8	1129.2	866.7	989.4	
Peso canastilla en el agua	gr	48.4	48.4	48.4	48.4	
Peso muestra en el agua	gr	1060.4	1080.8	818.3	941	
Peso muestra seca + recipiente	gr	1769.8	1811.1	1428	1596.6	
Peso recipiente	gr	133.3	147.6	141	148.6	
Peso muestra seca	gr	1636.5	1663.5	1287	1448	

Tabla 16 Resultados gravedad específica agregado fino

ENSAYO No		1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo	°C	21	22	22.5	
Peso de la muestra sss W _{sss}	gr	250	250	250	
Peso matraz + agua W _{ma}	gr	647.3	639.1	641.6	
Peso matraz + agua + muestra W _{mam}	gr	808.3	800.4	803.3	
Peso muestra seca W _s	gr	249.4	249.3	249	
Densidad Nominal = $W_s / (W_s + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm ₃	2.821	2.833	2.852	2.8355
Densidad Aparente = $W_s / (W_{sss} + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm ₃	2.802	2.811	2.820	2.8109
Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / (W_{sss} + W_{ma} - W_{mam})$	gr/cm ₃	2.809	2.818	2.831	2.8196
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	0.241	0.281	0.402	0.3077
Peso muestra seca + recipiente	gr	391.9	362.2	390.8	
Peso recipiente	gr	142.5	112.9	141.8	
Peso muestra seca	gr	249.4	249.3	249	

Tabla 17 Tabla de resumen de resultados materiales pétreos

ENSAYOS DE VERIFICACION SOBRE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA EN CALIENTE.			
Nivel de tránsito NT3			
ENSAYO	NORMA DE ESAYO INV	EXIGENCIA DE LA NORMA	VALOR MEDIDO EN LABORATORIO
Composición			
Granulometría	E-213	-	
Dureza			
Desgaste máquina de los ángeles	E-218	25% máx.	23.92%
Micro-Deval	E-238	20% máx.	14.68%
Durabilidad			
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio agregado grueso	E-219	12% máx.	10.8%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio agregado fino	E-220	12% máx.	10.76%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio agregado grueso	E-220	18% máx.	5.2%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio agregado fino	E-221	18% máx.	7.73%
Limpieza			
Equivalente de arena	E-133	50% min	63.5%
Contenido de impurezas	E-237	0.5% máx.	1.2%
Geometría de las partículas			
Partículas fracturadas mecánicamente	E-227	85/70% min	93.2/75%
Partículas planas y alargadas relación 1:5	E-240	10% máx.	3.50%
Gravedad específica			
Gravedad específica y absorción	E-222 Y E-223	-	

3. DOSIFICACION DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE MDC 2 (INV450 – 07)

3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Este método fue propuesto ingeniero Bruce Marshall del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, encargado del control de calidad de las mezclas asfáltica en Mississippi State Highway Department. El cual basado en resultados de diversas investigaciones y estudios de correlación mejoraron y proporcionaron ciertas características al método de diseño de mezclas.

El método de Bruce Marshall, es aplicable únicamente a mezclas en caliente empleando cemento asfáltico y agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25mm, se puede emplear para desarrollar proyectos en laboratorio o en el control de la obra en el proceso de construcción, este método se lo tomo como base y se ha normalizado por la ASTM y la AASHTO.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Lo primordial al empezar a desarrollar el método Marshall, es que los materiales para la mezcla, cumplan con los requerimientos exigidos por las especificaciones. Se debe tener una cantidad suficiente de material en las diferentes fracciones según su tamaño que brinda de la granulometría, se debe haber determinado los pesos específicos de los materiales pétreos y el cemento asfáltico, para poder realizar un análisis de densidad y vacíos.

Este método, se prepara a través de un procedimiento especificado para calentar, mezclar y compactar la mezcla de agregados pétreos con el cemento asfáltico empleando briquetas cilíndricas normalizadas de 2.5 pulg. (6.35 cm) de altura y 4 pulg. (10.16 cm) de diámetro.

El propósito y objetivos de este método es realizar un análisis de densidad, vacíos y la determinación de la estabilidad y el flujo de cada briketa elaborada, la estabilidad se define como la máxima carga que puede resistir la briketa normalizada a 60 °C (140 °F) ensayadas bajo las condiciones que exige el método y el flujo es la deformación total que se produce en la briketa desde el comienzo hasta la máxima carga durante el ensayo de estabilidad.

3.3 EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO (figura 10)

Baño de agua para probetas Marshall:

- Construido totalmente en acero inoxidable, tiene una capacidad para 10 probetas Marshall.
- Posee termostato de corte automático, llave de encendido y luz piloto.

Molde de compactación Marshall:

- Construido de tubo de acero maquinado, con base y collar intercambiables en ambos extremos del molde. Se utiliza para la preparación de probetas para ensayo de estabilidad.

Pisón de compactación para ensayos de estabilidad:

- El pisón de compactación se utiliza para compactar dinámicamente la probeta de asfalto dentro del molde de compactación.
- El martillo deslizante tiene un peso de 4,540 kg y una caída libre de 457 mm.

Base de compactación:

- El pedestal de compactación se utiliza con el molde de compactación durante este proceso.
- Consiste en un taco de madera dura con una placa de acero instalada en la parte superior y una guía especial para el pisón de compactación Marshall.

Compactador automático para ensayos Marshall:

- El compactador reproduce automáticamente la compactación manual, asegurando la repetitividad en los resultados del ensayo.
- Este equipo está diseñado y construido de forma que la distancia de caída del martillo sea la misma en cada impacto.
- Un contrapeso ubicado en la parte superior de la máquina evita el efecto de rebote sobre la muestra.
- Posee un sistema de lectura de la cantidad de golpes efectuados, con pre-determinador de parada automática, todo esto instalado en forma separada del cuerpo principal de la máquina.
- Incluye un molde de compactación Marshall.

Mordaza para ensayo de estabilidad:

- Este dispositivo de ensayo se utiliza para la aplicación de cargas durante el ensayo de estabilidad.

Prensa extractora:

- Esta prensa se utiliza para la extracción de probetas del interior del molde Marshall.
- Accionamiento manual a tornillo.

Máquina extractora de probetas de pavimento:

- Esta máquina está diseñada y construida para extraer testigos en carreteras, puentes, etc. Equipada con motor a explosión de 6hp. con camisa de acero y acelerador. Posee tres ruedas, una de ellas giratoria que facilita su traslado en trayectos cortos.
- A pedido se construye sobre ruedas neumáticas y enganche vehicular.



Foto. 22 Prensa Marshall



Foto. 23 Mordaza para ensayo

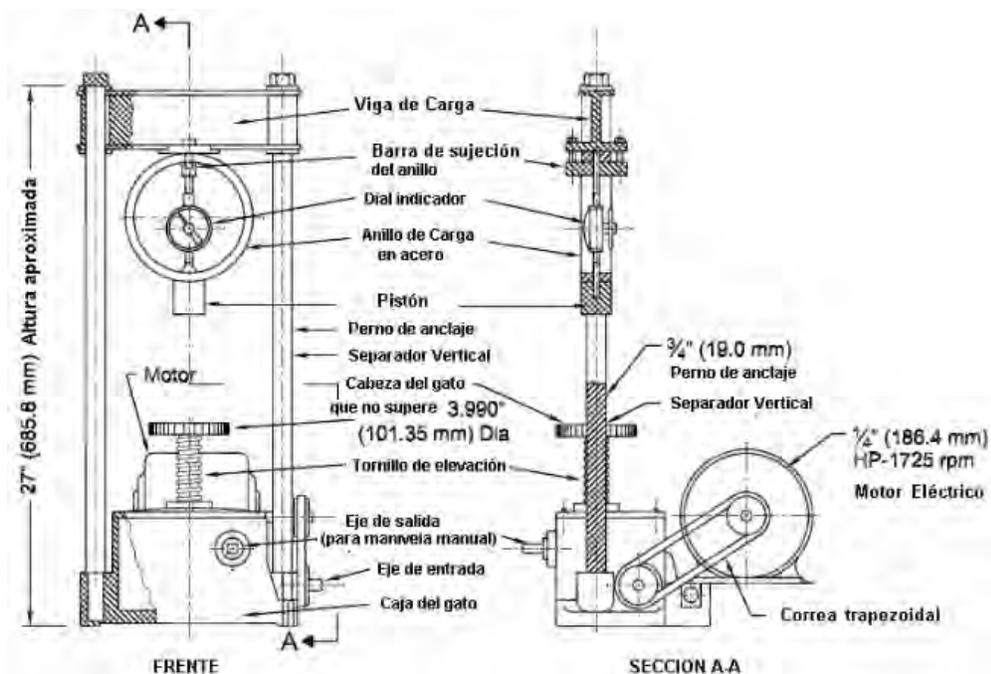


Figura. 10 Descripción máquina de compresión

3.4 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Para obtener el contenido óptimo de asfalto, para una mezcla definida por el método Marshall, se deben preparar una serie de briquetas con diferentes cantidades de ligante asfáltico para que de esta manera se tenga unos resultados más representativos y así poder determinar con mayor claridad en las curvas un valor óptimo de asfalto. El asfalto se lo incrementa en 0.5 % en cada muestra y se deben realizar por lo menos dos contenidos de asfalto por encima y dos por debajo del valor óptimo.

La cantidad de material pétreo para cada biqueta es de 1.200 gr. Por lo que se necesita una cantidad total de 22 kg de material para la realización del ensayo, y en cuanto a la cantidad de cemento asfáltico mínima es de 4 l o 4 kg aproximadamente.

Los agregados que se van a utilizar deben estar separados en las diferentes fracciones granulométricas y secos para garantizar un buen desarrollo del ensayo.

El cemento asfáltico debe ser llevado a una temperatura óptima de mezcla y compactación para que de esta manera se pueda obtener viscosidades entre 85 ± 10 segundos saybolt furol (170 ± 20 centistokes) 140 ± 15 segundos saybolt furol (280 ± 20 centistokes) respectivamente (ver ANEXO E).

Tabla 18 Temperaturas óptimas de los asfaltos colombianos

ESPECIFICACIÓN ASTM	ASFALTO PROVENIENTE DE REFINERÍA		
	CARTAGENA	B/BERMEJ A	APIAY
Temperatura de mezclado, Método de diseño Bruse Marshall, °C	145 - 140	147 - 152	143 - 148
temperatura de compactación, Método de diseño Bruse Marshall, °C	135 - 151	137 - 142	134 - 138
Temperatura de mezclado, en planta, °C	145 - 132	139 - 152	135 - 148

Los agregados se deben calentar a una temperatura por encima del asfalto en 27 °C. Se procede a la mezcla y luego su compactación de las briquetas aplicando una cantidad determinada de golpes por cada cara de la briketa, esto depende del tránsito que se espere.

Tabla 19 Número de golpes por cara según la intensidad del transito

TRANSITO	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TON .N	NÚMERO DE GOLPES POR CARA
Liviano	Menor o igual a 10^4	35
Mediano	$10^4 - 10^6$	50
Pesado	Mayor de 10^6	75



Foto. 24 Calentamiento material



Foto. 25 Calentamiento asfalto



Foto. 26 Material pétreo para mezcla.



Foto. 27 Adición del asfalto al material pétreo.



Foto. 28 Peso de material pétreo y asfalto



Foto. 29 Mezcla del asfalto y material pétreo.



Foto. 30 Temperatura de mezclado



Foto. 31 Adición de mezcla al molde de compactación con mezcla





Foto. 32 Compactación briqueta y Briqueta terminada

3.5 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO “bulk”

La densidad se debe realizar cuando las briquetas hayan alcanzado la temperatura ambiente, existen tres métodos para la realización de este ensayo, recubriendo las briquetas con parafina, sin parafina y midiendo las dimensiones de la briqueta.

En nuestro trabajo el método que se utilizó fue el segundo, sin parafina, ya que era una mezcla cerrada las partículas están muy unidas y no existen grandes vacíos para que pueda penetrar el agua de tal manera que no era necesario para finarlas.

Método A. Briquetas cubiertas con parafina.

Densidad Real = Peso al aire/Volumen de la briqueta
 $DR = A/V$

Peso específico Bulk de la briqueta (P.E) = Densidad Real / Densidad del agua
 $P.E = A / (B-C) - (B-A)/PE_p$

DR: Densidad real, peso unitario, g/cm^3

V: volumen de la briqueta, cm^3

A: Peso de la briqueta en el aire, g

B: Peso de la briqueta en el Aire, g

C: peso de la briqueta en el agua, g

P.Ep: Peso específico de la parafina (0.90)

Método B. Briquetas sin ser cubiertas de parafina.

Densidad Real = Peso al aire/Volumen de la briqueta
 $DR = A/V$

Peso específico Bulk de la briqueta (P.E) = Densidad Real / Densidad del agua
 $P.E = A / A-C$

DR: Densidad real, peso unitario, g/cm^3
V: volumen de la briqueta, cm^3
A: Peso de la briqueta en el aire, g
C: peso de la briqueta en el agua, g

Método C. Briquetas sin parafina y con Dimensiones uniformes

Densidad Real = Peso al aire/Volumen de la briqueta
 $DR = A/V$

Peso específico Bulk de la briqueta (P.E) = Densidad Real / Densidad del agua
 $P.E = A / 0.785 (d)^2(a)$

DR: Densidad Real, peso unitario, g/cm^3
V: volumen de la briqueta, cm^3
A: Peso de la briqueta en el aire, g
d: Diámetro de la briqueta, cm
a: Altura de la briqueta, cm, $0.785 = \pi/4$



Foto. 33 Peso de la muestra en el aire



Foto. 34 Peso de la muestra sumergida

3.6 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

Una vez determinada la densidad de las briquetas, se realiza el ensayo de estabilidad y flujo. Se introducen las briquetas a baño maría a unos 60 °C durante un tiempo no menor a 30 min ni superior a 40 min, se coloca el equipo Marshall para aplicar carga a las briquetas a una velocidad constante de 50.8 mm/mto, hasta que la briqueta se rompa, la carga máxima que tiene la briqueta al momento de romperse se denomina como estabilidad Marshall y la deformación que se presenta se lo denomina flujo Marshall, esta se mide desde el inicio de la carga.



Foto. 35 Ubicando molde para ensayo de compactación



Foto. 36 Colocación briqueta en molde para estabilidad y flujo

3.7 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS

Una vez determinada la Estabilidad y el Flujo Marshall se evaluará las características de los diferentes casos de compactación obtenidos con cada uno de los porcentajes de asfalto estudiados, para lo cual se sigue el siguiente procedimiento:

Se promedia la densidad de todas las probetas con el mismo contenido de asfalto.

Utilizando el peso específico bulk de los agregados, el peso específico máximo teórico de la mezcla y peso específico del asfalto, se deduce.

- El peso del cemento asfáltico absorbido por el agregado seco
- El porcentaje de vacíos en la mezcla total V_v .
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral V.A.M.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

Tabla 20 Resultados método Marshall

FÓRMULA DE TRABAJO PARA MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL

FUENTE DE MATERIAL SAN FRANCISCO
Peso específico de Agregados: 2.686

M D C - 2(INV-2007)

Peso específico del asfalto: 1.016

Muestra No.	% Asfalto	PESO EN GRAMOS			Peso unitario "Bulk" (g/cm ³)	Peso específico		Asfalto absorbido (%)	VOLUMEN % TOTAL				Vacíos en Agregados Minerales (%)	% de Asfalto Efectivo	Llenante/Ligante	ESTABILIDAD			Flujo (mm)
		Seca en aire (g)	SSS en aire (g)	En agua (g)		Volumen (cm ³)	Máximo Teórico		Máximo Medido	Agregado	Vacíos llenos con asfalto	Vacíos con aire				Asfalto efectivo	Lectura Dial Carga (Lb)	Medida (kg)	
a	b	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q	r	s	
						$d(e-f)$			$\frac{(i-h) \cdot 10^3}{(j-h) \cdot 100}$	$\frac{(100-b) \cdot g}{Gagr}$		$\frac{(1-g) \cdot 100}{100-k}$	$\frac{100-k-l}{100-k}$	100-k	$\frac{b \cdot j}{(100-b) \cdot 100}$				
1		1194.70	1197.90	696.70	501.2	2.384										1250.00	566.99	593	2.75
2		1173.30	1179.60	675.90	503.7	2.329										854.00	387.37	402	2.75
3		1219.30	1221.80	707.10	514.7	2.369										1205.00	546.58	548	2.50
PROMEDIO	4.5					2.361	2.501	2.542	0.68	83.9	55.7	7.1	8.9	16.07	3.85	1.44		514	2.7
4		1194.10	1198.10	689.10	509.0	2.346										1319.00	598.29	611	3.25
5		1186.00	1188.20	685.80	502.4	2.361										1400.00	635.03	662	2.50
6		1186.10	1187.20	697.40	489.8	2.422										1954.00	886.32	961	2.50
PROMEDIO	5.0					2.376	2.482	2.504	0.37	84.0	68.1	5.1	10.9	15.96	4.65	1.19		744	2.8
7		1199.90	1204.80	710.40	494.4	2.427										1462.00	663.15	708	3.00
8		1201.90	1208.10	699.10	509.0	2.361										1707.00	774.28	790	3.00
9		1178.70	1184.30	684.90	499.4	2.360										1844.00	836.42	880	3.00
PROMEDIO	5.5					2.383	2.463	2.495	0.55	83.8	72.2	4.5	11.7	16.17	4.98	1.10		793	3.0
10		1177.70	1178.70	693.00	485.7	2.425										2932.00	1329.93	1461	3.10
11		1203.50	1204.00	706.90	497.1	2.421										2655.00	1204.29	1276	3.10
12		1190.60	1191.10	706.20	484.9	2.455										2666.00	1209.28	1332	3.10
PROMEDIO	6.0					2.434	2.445	2.523	1.35	85.2	76.5	3.5	11.3	14.83	4.73	1.15		1356	3.1
13		1156.70	1157.70	675.20	482.5	2.397										2180.00	988.83	1097	3.20
14		1172.80	1174.10	688.70	485.4	2.416										2532.00	1148.50	1263	3.20
15		1200.30	1201.00	715.30	485.7	2.471										2183.00	990.19	1088	3.20
PROMEDIO	6.5					2.428	2.427	2.465	0.68	84.5	90.6	1.5	14.0	15.47	5.86	0.93		1149	3.2
16		1178.70	1179.50	691.60	487.9	2.416										1690.00	766.57	836	3.30
17		1189.90	1192.70	700.20	492.5	2.416										1563.00	708.96	762	3.40
18		1191.80	1193.90	701.60	492.3	2.421										2442.00	1107.67	1191	3.40
PROMEDIO	7.0					2.418	2.409	2.460	0.93	83.7	89.6	1.7	14.6	16.29	6.14	0.88		930	3.4
F. TRAB.	6.1					2.383	2.441	2.495	0.95	83.3	73.2	4.5	12.2	16.70	5.21	1.04		1351	3.1

3.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA.

Se promedian los valores de pesos unitarios de las briquetas para cada contenido de cemento asfáltico, también la estabilidad y el flujo Marshall, con la diferencia que el flujo debe hacerse una corrección de la altura o del volumen de cada biqueta.

Uno de las primeras gráficas que se debe realizar es la de los pesos unitarios o densidad real de las briquetas compactada contra los diversos contenidos de asfalto empleados durante el diseño.

Los gráficos se complementan el resultado del ensayo Marshall son:

- Estabilidad Marshall
- Flujo Marshall
- Vacíos Totales
- Vacíos en el agregado Mineral
- Vacíos llenos con Asfalto (no se incluye en las normas actuales)

Curva de estabilidad¹.

La curva representa una rama ascendente, conocida como “Rama Seca” que crece a medida que se incrementa el porcentaje de asfalto, hasta llegar a un máximo y luego comienza decrecer con incrementos sucesivos de ligante, esta rama se la conoce como “rama rica en asfalto” esta curva de forma convexa hacia arriba, está íntimamente relacionada con la curva de densidad. Para contenidos bajos de asfaltos y ante un esfuerzo dado de compactación, para una granulometría dada, los esfuerzos que se le suministran son absorbidos prácticamente por las partículas por lo que la resistencia se debe casi que exclusivamente a la fricción interna de las partículas del agregado. A medida que se incrementa el asfalto, el aporte de cohesión es mayor complementándose con el aporte de fricción de las partículas del agregado. Esto sucede hasta un punto en el cual, ante un exceso de asfalto se comienza a perder contacto interarticular y la estabilidad comienza a decrecer y es aportada por el ligante y la fracción fina del agregado. A medida que se aumenta la cantidad de asfalto, se sigue perdiendo porte de fricción, el de cohesión tiende a estabilizarse y la estabilidad continúa descendiendo.

¹ Tomado de TEORIA DE LOS PAVIMENTOS ing. Mg. Hugo León Arenas Lozano

Curva de Densidad¹.

Presenta la misma tendencia que la anterior, aun cuando el porcentaje de ligante para la máxima densidad normalmente ocurre en valores de asfalto ligeramente superiores que para la máxima estabilidad.

Curva de Flujo¹.

El flujo aumenta con el incremento del asfalto, siendo una consecuencia lógica de que las mezclas más ricas en asfalto son más flexibles y deformables que las mezclas secas.

Curva de Vacíos Totales¹.

A medida que se incrementa el contenido de asfalto se van llenando los vacíos ocupados por el aire y como consecuencia su porcentaje respecto al volumen de la briqueta, se hace menor.

Curva de vacíos en el agregado mineral. Las mezclas de agregado sin ligante logran su mayor grado de densidad ante un esfuerzo de compactación. A medida que se incrementa el contenido de ligante, este cubre las partículas y hace que ellas comiencen a separarse, perdiendo el contacto grano a grano, y por lo tanto los espacios no ocupados por los agregados, que es el VAM, comienza a crecer. A medida que comienza a aumentar el contenido de asfalto, este comienza a actuar como agente lubricante las partículas vuelven a buscar un mejor acomodo y los espacios entre los granos, nuevamente el VAM, tiende a disminuir. De este punto en adelante, nuevos incrementos del contenido de ligante continúan mejorando el acomodo y mejorando su densidad y disminuyendo los vacíos no ocupados por los agregados. Cuando los vacíos se llenan con el máximo de asfalto, cantidades adicionales de ligante comienzan a causar una separación entre las partículas de agregado y en consecuencia, los valores de VAM, comienzan a aumentar con cada incremento de asfalto.

¹ Tomado de TEORIA DE LOS PAVIMENTOS ing. Mg. Hugo León Arenas Lozano

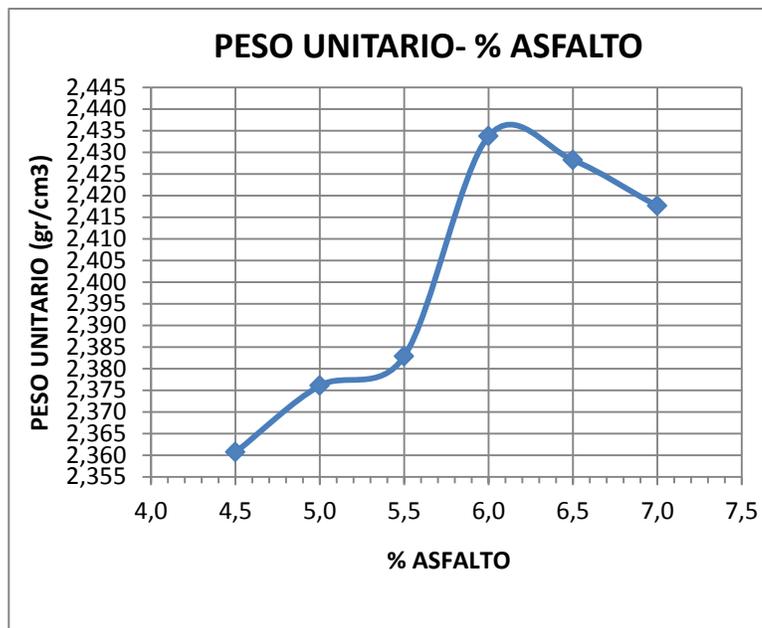


Figura. 11 Gráfica peso unitario

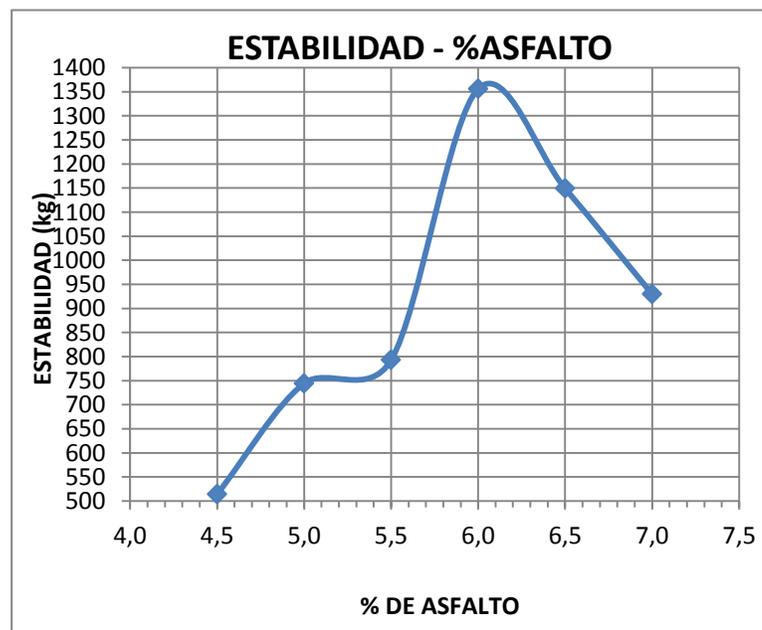


Figura. 12 Gráfica estabilidad

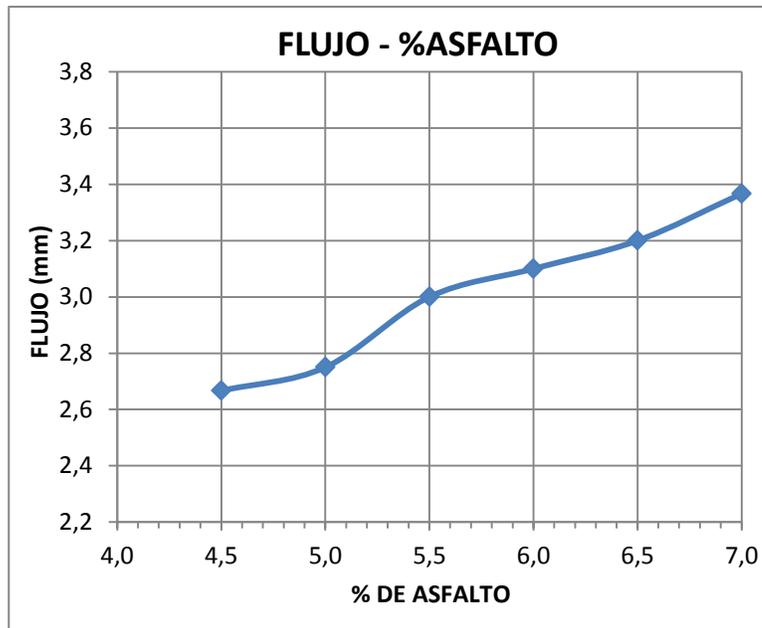


Figura. 13 Gráfica flujo

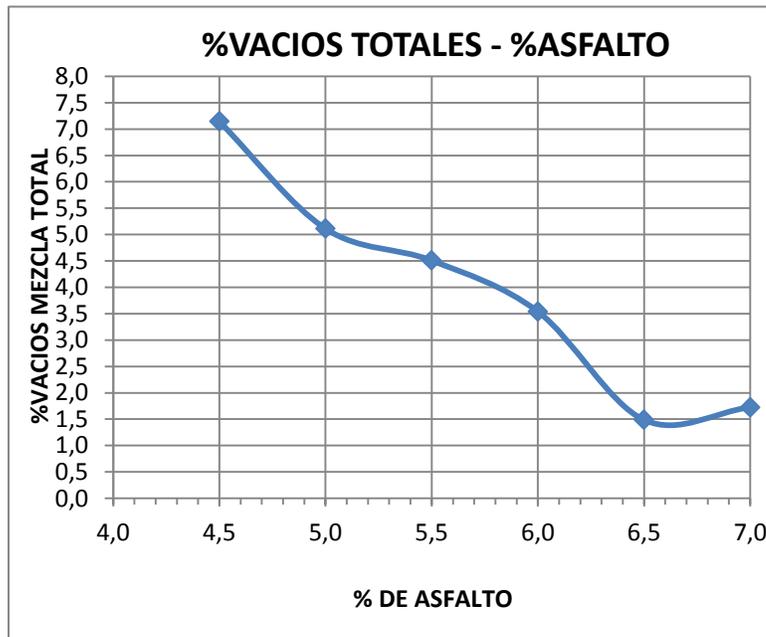


Figura. 14 Gráfica porcentaje vacíos totales muestra

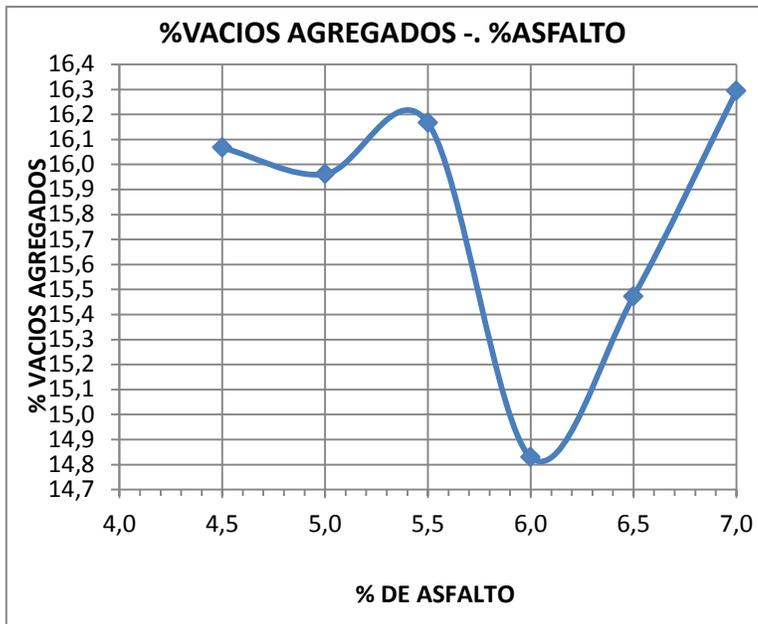


Figura. 15 Vacíos en el agregado

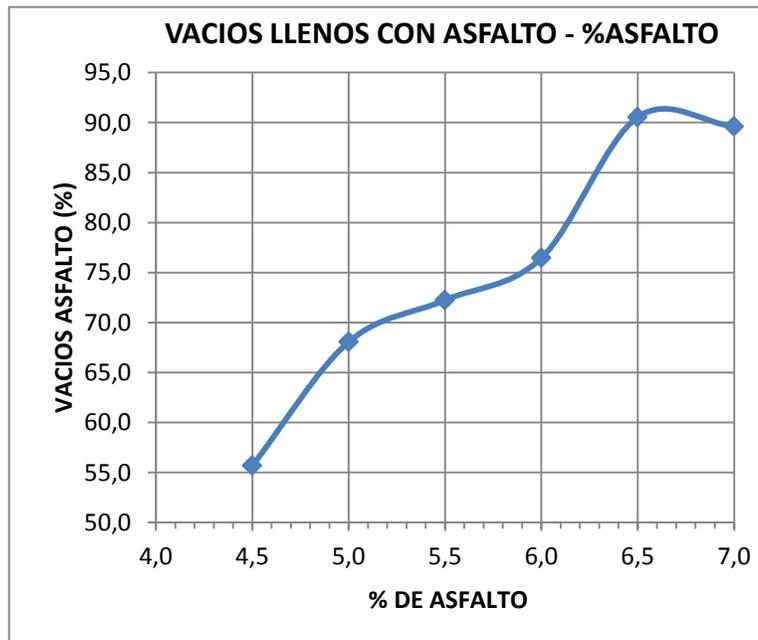


Figura. 16 Vacíos llenos de asfalto

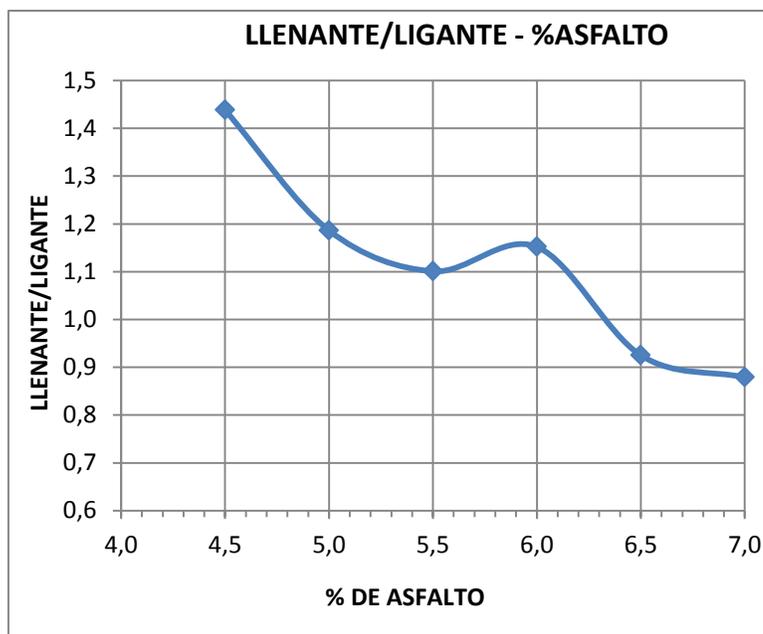


Figura. 17 Gráfica llenante mineral

Tabla 21 Resumen resultados ensayo Marshall por el método del instituto Nacional del Asfalto

METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	Especificación
RESUMEN MARSHALL :	General
Contenido de Asfalto (%):	6.1%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.436
Estabilidad (kg):	1351
Flujo (mm):	3.1
Vacios con aire (%):	3.6
Vacios de Agregados Minerales (%):	14.80
Vacios Llenos con asfalto (%):	87.2
Relación Llenante-Ligante:	0.98
Temperatura de compactación (°C):	130

3.9 CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

Para determinar el contenido de asfalto, se deben tener en cuenta las gráficas, que anteriormente se analizaron y un procedimiento ya determinado.

- De la curva de estabilidad vs % de asfalto se debe seleccionar el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor máximo de la curva de estabilidad.

- De la curva de Densidad vs % de Asfalto se selecciona el porcentaje de asfalto el cual corresponde a un valor de la curva de densidad.
- De la curva de Vacíos vs % de Asfalto se selecciona el porcentaje de asfalto y se obtiene el porcentaje de vacíos totales de la muestra, este valor está entre 3% y 5%

3.10 CRITERIOS QUE IMPONE LAS ESPECIFICACIONES PARA EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

Se debe tener en cuenta que los valores cumplan con los criterios que establece la especificación con respecto a la mezclas densas en caliente y obtención de contenido óptimo de asfalto.

Tabla 22 Criterios de diseño para mezclas asfálticas en caliente según el método Marshall (Art 400.2.4. INV-07)

CARACTERISTICAS	TRANSITO DE DISEÑO (N) Ejes equivalentes de 80 kN		
	$>5 * 10^6$	$5 * 10^5 - 5 * 10^6$	$>5 * 10^5$
Compactación, golpes / cara	75	75	75
Estabilidad mínima kg	900	750	600
Flujo 0.01 in	8-14	8-16	8-16
Vacíos con aire:			
Capa de rodadura %	4-6	3-5	3-5
Base asfáltica %	4-8	4-8	4-8
vacíos mínimos en agregado minerales			
Gradación MDC - 0 %	14	14	14
Gradación MDC - 1 %	14	14	14
Gradación MDC - 2 %	15	15	15
Gradación MDC - 3 %	16	16	16
Vacíos llenos de asfalto %	65-75	65-78	65-80

4. DISEÑO MARSHALL PARA UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.

El estudio de los asfaltos modificados con fibras de polipropileno se han basado en diferentes consultas de documentos donde determinan que el asfalto modificado mejora las propiedades mecánicas y elevan la vida útil de un pavimento que con los asfaltos convencionales, sea encontrado que mediante la adición de fibras, se tiene en la mezcla una mejor redistribución de esfuerzos, que le dan a la mezcla una mayor cohesión y tenacidad gracias a su elasticidad, resultando mezclas un poco más flexibles.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

En la realización de este trabajo se ha empleado el contenido óptimo de asfalto que se encontró para una mezcla convencional y la metodología utilizada es la misma del numeral 3.1.2

Para la realización del diseño Marshall con asfalto modificado se preparan 3 briquetas cilíndricas por cada contenido de polipropileno, las briquetas son normalizadas de 2.5 pulg. (6.35 cm) de altura y 4 pulg. (10.16 cm) de diámetro. Este estudio se realizó para determinar el contenido óptimo de ligante asfáltico utilizando una mezcla con asfalto modificado con fibras y así de esta manera poder realizar un análisis y una comparación de la estabilidad, el flujo y una comparación de costos de los dos tipos de mezcla (MDC-2) con asfalto modificado con fibras de polipropileno extraídas de sacos rojos tejidos y (MDC-2) con asfalto normal.

Se puede tener en cuenta una serie de pasos para el desarrollo del método.

- Selección del material
- Caracterización de los materiales
- Ensayos de laboratorio para agregados y ligante
- Ensayos y pruebas a las briquetas con asfalto convencional en la mezcla
- Obtención del contenido óptimo de ligante asfáltico
- Diseño de la mezcla con la incorporación de fibras al cemento asfáltico
- Ensayos y pruebas en laboratorio sobre la mezcla modificada
- Conclusiones y comparación de las pruebas realizadas a la mezcla con asfalto normal y a la modificada por la adición de fibras en el asfalto, comparación de costos entre las dos.

4.2 EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO

El equipo empleado para la realización de este ensayo es similar al del numeral 3.1.3

4.3 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS

El procedimiento es el mismo que utilizamos en el numeral 3.1.4 a diferencia que para una mezcla densa en caliente utilizando asfalto modificado con fibras de polipropileno a través del método Marshall, se deben preparar una serie de briquetas con diferente porcentaje de fibras y la cantidad optima de asfalto que obtuvimos en el literal 3.1.4 El polipropileno se lo incrementa en 0.2, 0.4, 0.6% en cada muestra y se deben realizar por lo menos tres briquetas por cada contenido de fibras en el asfalto.



Foto. 37 Mezcla de polipropileno para realizar las briquetas.



Foto. 38 Temperatura para la compactación; Briquetas con asfalto modificado

4.4 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO “bulk”

Para la determinación del peso específico bulk en (MDC-2) con asfalto modificado se sigue el procedimiento del numeral 3.1.5

4.5 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.

Se procede de igual manera que en el literal 3.1.6 del análisis de una mezcla convencional.

4.6 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACIOS.

El análisis de vacíos se realiza igual a literal 3.1.7 de una mezcla convencional.

4.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Se determina los resultados y la interpretación de la gráfica de igual manera que en el literal 3.1.8 del método Marshall con la mezcla convencional. A diferencia que en este paso se evalúan las variaciones de polipropileno.

Tabla 23 Resultados método Marshall modificado

FÓRMULA DE TRABAJO PARA MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL

FUENTE DE MATERIAL

SAN FRANCISCO

M D C - 2(INV-2007)

Peso específico de Agregados:

2.686

Peso específico del asfalto:

1.016

Muestra No.	%Polipropileno	% Asfalto	PESO EN GRAMOS			Peso unitario "Bulk" (g/cm ³)	Peso específico		Asfalto absorbido (%)	VOLUMEN % TOTAL				Vacíos en Agregados Minerales (%)	% de Asfalto Efectivo	Lienante/Ligante	ESTABILIDAD			Flujo (mm)	
			Seca en aire (g)	SSS en aire (g)	En agua (g)		Volumen (cm ³)	Máximo Teórico		Máximo Medido	Agregado	Vacíos llenos con asfalto	Vacíos con aire				Asfalto efectivo	Lectura Dial Carga (Lb)	Medida (kg)		Corregida (kg)
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s		
							$d/(e-f)$				$(e-h) \cdot 100 / (i-h) \cdot 100$	$(100-b) \cdot g / G_{ag}$		$(1-g) \cdot 100$	$100-k-l$	$100-k$	$b \cdot g / (100-b) \cdot 100$				
1			1175.20	1178.10	673.60	504.5	2.329											2592.00	1175.71	1217	2.50
2			1196.70	1198.20	693.50	504.7	2.371											2917.00	1323.13	1369	2.25
3			1185.50	1187.30	685.30	502.0	2.362											2997.00	1359.42	1418	2.25
PROMEDIO	0.2	5.9					2.354	2.449	2.609	2.66	82.5	44.9	9.8	7.8	17.53	3.39	1.61			1335	2.3
4			1200.30	1203.60	691.90	511.7	2.346											2901.00	1315.87	1332	3.50
5			1186.00	1187.80	686.90	500.9	2.368											2907.00	1318.59	1380	3.00
6			1194.30	1196.20	689.60	506.6	2.357											2920.00	1324.49	1362	2.75
PROMEDIO	0.4	5.7					2.357	2.456	2.428	-0.50	82.7	82.9	2.9	14.3	17.25	6.17	0.89			1358	3.1
7			1200.30	1202.90	670.50	532.4	2.255											2602.00	1180.25	1123	3.50
8			1200.10	1202.50	695.80	506.7	2.368											2712.00	1230.14	1265	4.50
9			1201.50	1204.70	668.70	536.0	2.242											2560.00	1161.20	1094	3.25
PROMEDIO	0.6	5.5					2.288	2.463	2.381	-1.49	80.5	79.8	3.9	15.6	19.50	6.90	0.79			1161	3.8

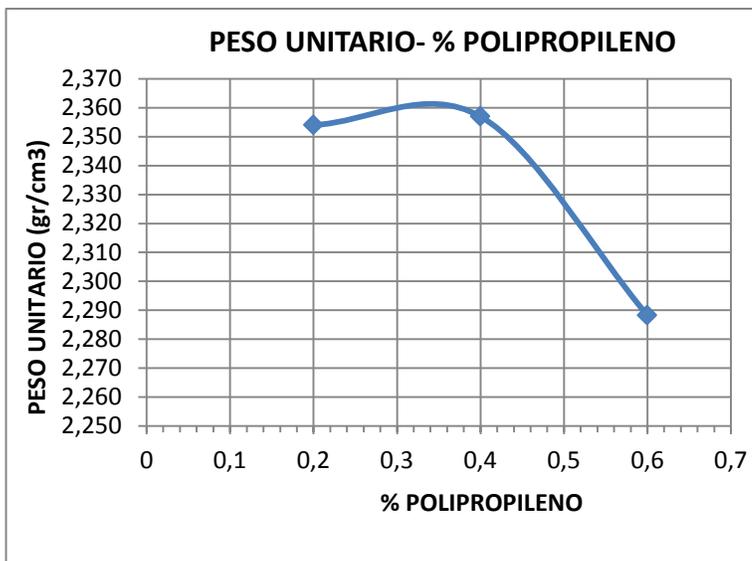


Figura. 18 Gráfica peso unitario

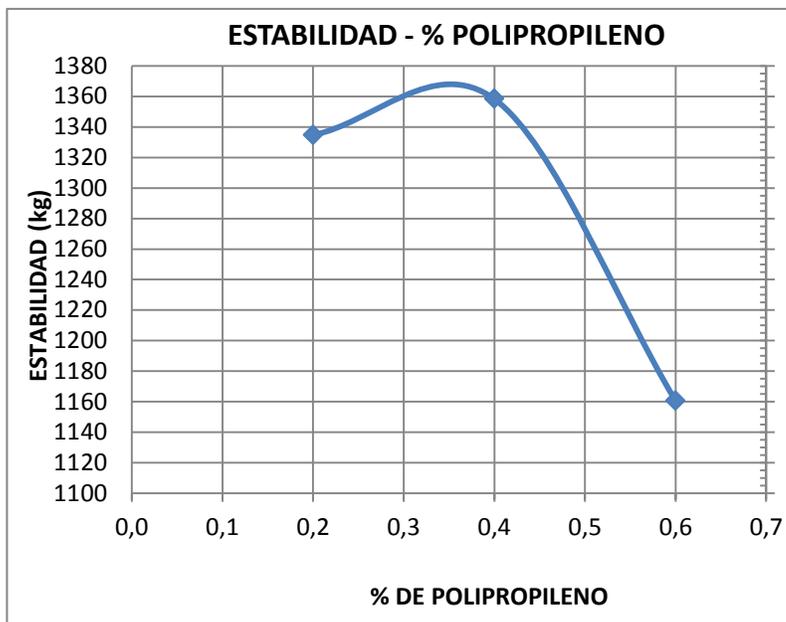


Figura. 19 Gráfica estabilidad

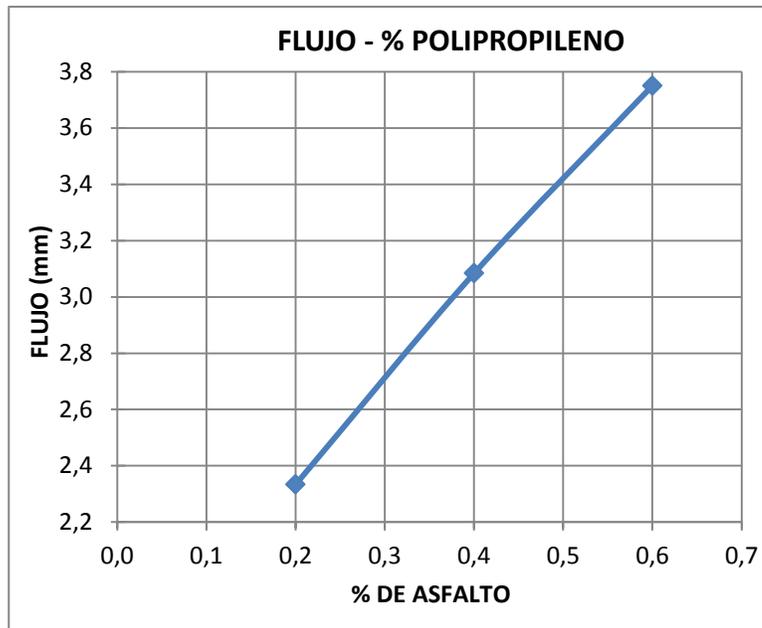


Figura. 20 Gráfica flujo

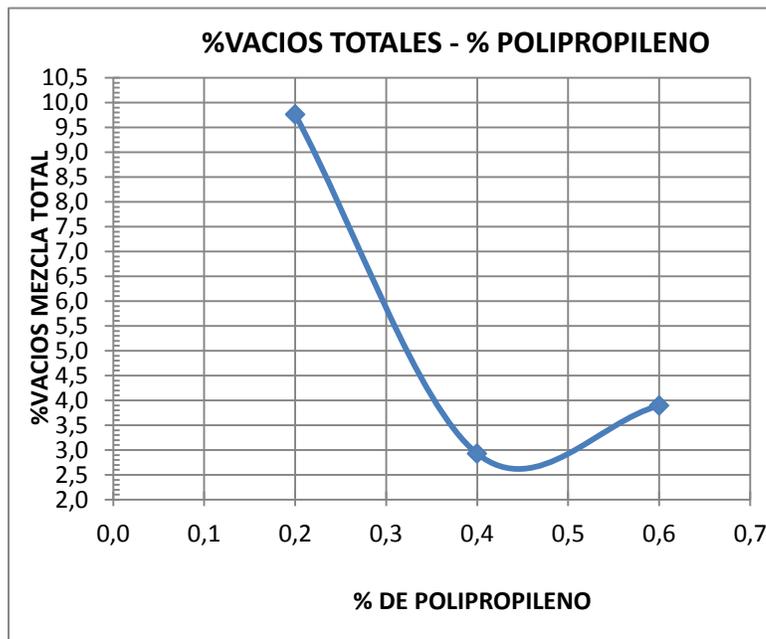


Figura. 21 Gráfica porcentaje vacíos totales muestra

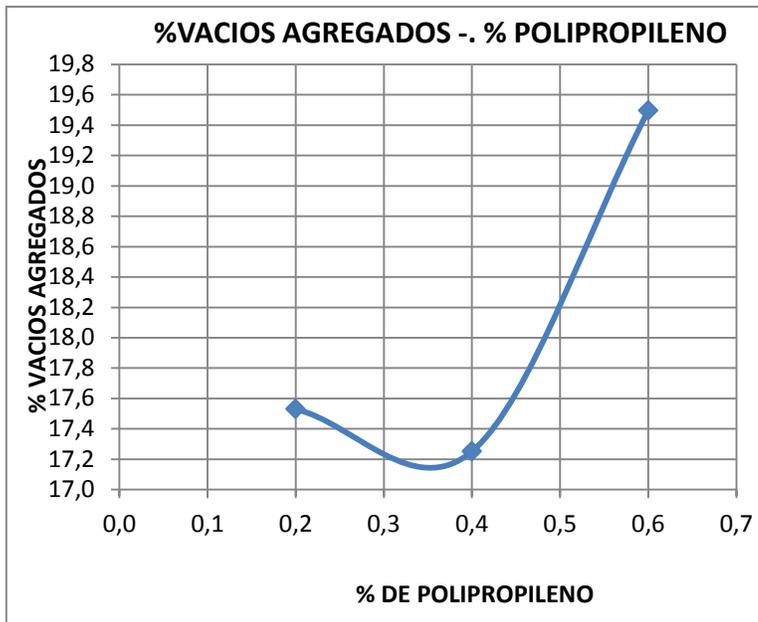


Figura. 22 Vacíos en el agregado

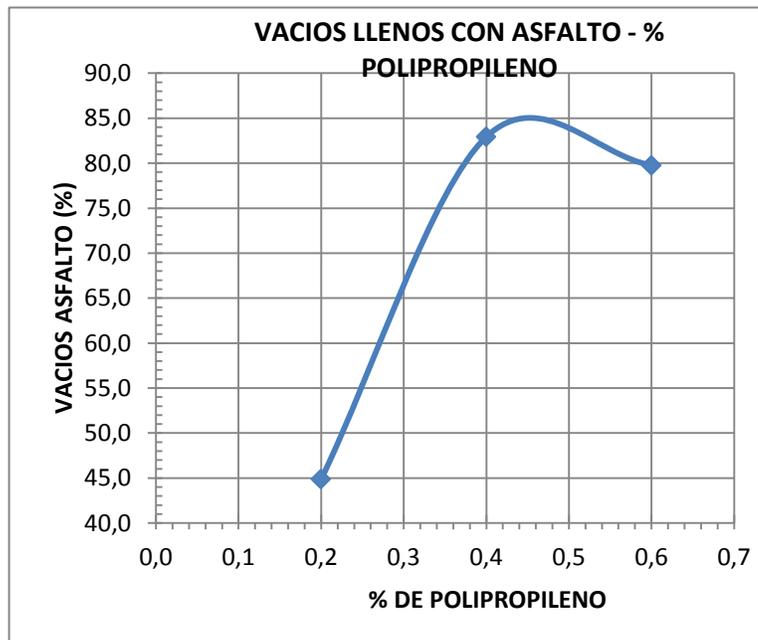


Figura. 23 Vacíos llenos de asfalto

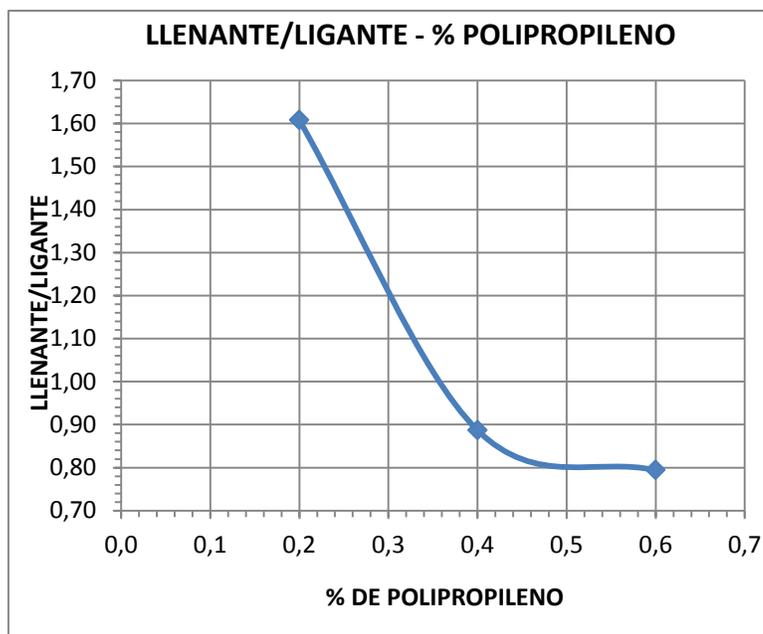


Figura. 24 Relación llenante-ligante

Tabla 24 Resumen resultados ensayo Marshall por el método del instituto Nacional del Asfalto

METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	
RESUMEN MARSHALL MODIFICADO:	
Contenido de Asfalto (%):	5.75%
Contenido de Polipropileno (%):	0.35%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.359
Estabilidad (kg):	1360
Flujo (mm):	2.7
Vacíos con aire (%):	4.0
Vacíos de Agregados Minerales (%):	17.15
Vacíos Llenos con asfalto (%):	77.5
Relación Llenante-Ligante:	1.20
Temperatura de compactación (°C):	130

Tabla 25 Comparación resultados Marshall con asfalto normal y modificado

MARSHALL	CONVENCIONAL	MODIFICADO
Contenido de Asfalto (%):	6.1%	5.75%
Contenido de Polipropileno (%):	0.0%	0.35%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.436	2.359
Estabilidad (kg):	1351	1360
Flujo (mm):	3.1	2.7
Vacíos con aire (%):	3.6	4.0
Vacíos de Agregados Minerales (%):	14.80	17.15
Vacíos Llenos con asfalto (%):	87.2	77.5
Relación Llenante-Ligante:	0.98	1.20
Temperatura de compactación (°C):	130	130

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYO CON EL MÉTODO MARSHALL CON ASFÁLTALO NORMAL Y MODIFICADO.

En la tabla 25 se presentan en primera instancia los resultados de los ensayos realizados con las briquetas con asfalto convencional, seguido por los resultados de las muestras con el asfalto modificado con fibras de polipropileno, es de mucha importancia saber que las briquetas tanto del asfalto convencional y modificado se realizaron con el mismo agregado pétreo de la cantera San Francisco y cemento asfáltico de Barrancabermeja.

El porcentaje óptimo de asfalto es de (6.1%) para una mezcla convencional y para una mezcla con asfalto modificado el porcentaje óptimo es (5.75%) esto demuestra que al adicionarle el polipropileno el contenido de asfalto se reduce en un (0.35%).

En cuanto a la estabilidad se mantiene estable este valor en la mezcla con asfalto convencional (1351 kg) y mezcla con asfalto modificado (1360 kg). Demostrando que la briqueta no ha perdido su rigidez a pesar de que el contenido de asfalto ha bajado en (5.57%) y se ha aumentado el polipropileno, garantizando que las propiedades de resistir a cargas y cumpliéndolos los requisitos mínimos exigidos por las especificaciones INVIAS 2007.

Los valores de flujo que se lograron en la mezcla con cemento asfáltico modificado son menores (2.7 mm) que el de mezcla convencional esto representa que la mezcla con mejor comportamiento en cuanto a resistencia a las deformaciones es la modificada, ya que esta puede ser más flexible para condiciones de tránsito pesado NT3, evitando que la mezcla se torne quebradiza en climas fríos y bajo acción de cargas.

En cuanto al peso unitario y al porcentaje de vacíos en la mezcla, la muestra que presenta los mejores comportamientos es la muestra que se le incorporó el 0.35% de polipropileno.

6. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de precios se realizó para poder comparar el costo de la mezcla convencional como la de la mezcla con asfalto modificada. Observando que el costo de la mezcla modificada se ve incrementado su valor debido a que se le adiciona el polipropileno, además se necesita mano de obra para realizar la combinación del asfalto con el polímero y los agregados en la mezcla.

Podríamos determinar una relación costo beneficio de una mezcla con asfalto convencional con respecto a la mezcla con asfalto modificado. Se sabe que la mezcla modificada es más costosa que la mezcla con asfalto convencional, pero el valor del modificado se ve compensado con los beneficios que esta puede traer en cuanto a las propiedades y a la vida útil del pavimento reduciendo los costos de muchos factores como pueden ser los de mantenimiento.

Tabla 26 Precios de una mezcla densa en caliente con asfalto convencional.

PRECIOS DE UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE EN PLANTA MDC2 CONVENCIONAL				
1. EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	TARIFA		VALOR UNITARIO	
PLANTA DE ASFALTO	\$437,258.51	h	\$ 10,931.46	m3
CARGADOR	\$ 78,000.00	h	\$ 9,750.00	m3
TERMINADORA DE ASFALTO	\$250,000.00	h	\$ 31,250.00	m3
COMPACTADOR VIBRATORIO	\$ 65,000.00	H	\$ 8,125.00	m3
COMPACTADOR NEUMATICO	\$ 65,000.00	H	\$ 8,125.00	m3
			\$ 15,807.90	
2. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	TARIFA		VALOR UNITARIO	
GRAVA DE 5/8	\$ 24,942.97	m3		m3
GRAVILLAA DE 3/8	\$ 48,000.00	m3	\$ 21,120.00	m3
ARENA DE RIO	\$ 31,000.00	m3	\$ 9,300.00	m3
ARENA DE PEÑA	\$ 38,000.00	m3		m3

FINOS	\$ 31,000.00	m3	\$ 8,060.00	m3
AFALTO SOLIDO	\$ 1,150.00	kg	\$ 212,750.00	m3
ENERGIA	\$ 523.00	kw	\$ 3,138.00	m3
COMBUSTIBLE	\$ 5,650.00	gal	\$ 39,550.00	m3
DESPERDICIOS	\$177,880.27	m3	\$ 6,827.08	m3
				\$ 300,745.08
3. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	VOLUMEN	DISTAN CIA	TARIFA	VALOR UNITARIO
VOLQUETA VIAJE	6 M3	30 km máx	\$ 117,000.00	\$ 19,500.00
4. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	JORNAL TOTAL		VALOR UNITARIO	
1 INSPECTORES	\$ 25,000.00	dia	\$ 625.00	m3
1 TORNILLERO	\$ 15,000.00	dia	\$ 375.00	m3
2 RASTRILLEROS	\$ 30,000.00	dia	\$ 750.00	m3
1 MELACHERO	\$ 15,000.00	dia	\$ 375.00	m3
4 AYUDANTES	\$ 60,000.00	dia	\$ 750.00	m3
				\$ 2,875.00
5. COSTOS DIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	PORCENTA JE		VALOR TOTAL	
SUB TOTAL			\$ 391,301.54	
ADMINISTRACIÓN, UTILIDADES IMPREVISTOS	30%		\$ 117,390.46	m3
	PRECIO UNITARIO TOTAL		\$ 429,918.58	m3

Tabla 27 Precios de una mezcla densa en caliente con asfalto

**PRECIOS DE UNA MEZCLA Densa EN CALIENTE EN PLANTA MDC2
MODIFICADA CON POLIMERO**

1. EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	TARIFA		VALOR UNITARIO	
PLANTA DE ASFALTO	\$437,258.5	h	\$ 10,931.46	m3
CARGADOR	\$78,000.00	h	\$ 9,750.00	m3
TERMINADORA DE ASFALTO	\$250,000.0	h	\$ 31,250.00	m3
COMPACTADOR VIBRATORIO	\$65,000.00	h	\$ 8,125.00	m3
COMPACTADOR NEUMATICO	\$65,000.00	h		m3
			\$ 15,807.39	
2. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	TARIFA		VALOR UNITARIO	
GRAVA DE 5/8	\$24,942.97	m3		m3
GRAVILLAA DE 3/8	\$48,000.00	m3	\$ 21,120.00	m3
ARENA DE RIO	\$31,000.00	m3	\$ 9,300.00	m3
ARENA DE PEÑA	\$8,000.00	m3		m3
FINOS	\$31,000.00	m3	\$ 8,060.00	m3
POLIPROPILENO	\$ 800.00	kg	\$ 8,491.80	m3
AFALTO SOLIDO	\$ 1,150.00	kg	\$ 200,543.03	m3
ENERGIA	\$ 523.00	kw	\$ 3,138.00	m3
COMBUSTIBLE	\$ 5,650.00	gal	\$ 39,550.00	m3
DESPERDICIOS	\$177,880.3	m3	\$ 6,827.08	m3
			\$ 171,163.48	
3. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	VOLUME N	DISTAN CIA	TARIFA	VALOR UNITARIO
VOLQUETA VIAJE	6 M3	30 km máx	\$ 117,000.00	\$ 19,500.00

4. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	JORNAL TOTAL		VALOR UNITARIO	
1 INSPECTORES	\$ 25,000.00	dia	\$ 625.00	m3
1 TORNILLERO	\$ 15,000.00	dia	\$ 375.00	m3
2 RASTRILLEROS	\$ 30,000.00	dia	\$ 750.00	m3
1 MELACHERO	\$ 15,000.00	dia	\$ 375.00	m3
4 AYUDANTES	\$ 75,000.00	dia	\$ 937.50	m3
				\$3,062.5
5. COSTOS DIRECTOS				
DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE		VALOR TOTAL	
SUB TOTAL			\$ 379,648.88	
ADMINISTRACION, UTILIDADES IMPREVISTOS	30%		\$ 113,894.66	M3
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$ 493,543.54	M3

7. CONCLUSIONES

Se logró establecer que con respecto al peso total de la briqueta utilizada para el ensayo Marshall, el porcentaje óptimo de polipropileno es de 0.35%, el cual representa una estabilidad aparentemente igual con respecto a una mezcla con asfalto convencional, además después de adicionarle el polipropileno a la mezcla el flujo disminuyó dentro del límite de la especificación INVIAS Art. 450.4.2 haciendo que los pavimentos presenten menos deformaciones ante la carga de tránsito que podría resistir.

Para la calidad final de la mezcla la fuente de material cantera San Francisco, aporta un importante punto, ya que los materiales ensayados selección, fue un (agregado grueso y fino) cumplieron con las exigencias de la norma INV 2007 (establecidos en la tabla 450.6) en cuanto a su composición, dureza, durabilidad, limpieza y geometría

Se verificó la calibración de la prensa Marshall, determinando que esta, se encuentra en óptimas condiciones para brindar resultados confiables y satisfactorios para el normal desarrollo de la investigación.

Utilizando materiales pétreos de la cantera San Francisco, se obtuvieron resultados satisfactorios que se encuentran dentro de los parámetros permisibles para una mezcla MCD-2 en nivel de tránsito NT3 que exige la norma INVIAS, los cuales nos llevaron a encontrar que el porcentaje óptimo de asfalto para una mezcla con asfalto normal es de 6.1 % y para la mezcla con asfalto modificado se obtuvo el resultado 5.75 % de asfalto y una cantidad de polipropileno de 0.35%

8. RECOMENDACIONES

Estudiar y evaluar diferentes clases de materiales para incorporar a la mezcla, para obtener diferentes clases de resultados y así poder verificar cual material es el más óptimo para mejorar las propiedades de la mezcla en cuanto a su estabilidad – flujo y densidad y vacíos.

Evaluar las propiedades de los materiales de diferentes canteras para lograr determinar cuál se obtiene un mejor desempeño en cuanto a las propiedades físico- mecánicas de los agregados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría de los Pavimentos, Universidad del Cauca.

BISSO FERNÁNDEZ, Ricardo E. Los Asfaltos, Tecnología y Aplicaciones. Editado por Petróleos del Perú – Petroperú S.A., Noviembre de 1998.

ELVIRA MUÑOZ, José Luis. Mezclas asfálticas en caliente y en frío. Universidad del Cauca instituto de vías, 1988.

ESSO COLOMBIA, S.A. Principios básicos para el diseño de pavimentos Flexibles. Bogotá, 1979.

GAMICA ANGUAS, Paul, DELGADO ALAMILLA, Horacio y SANDOVAL SANDOVAL, Carlos Daniel. Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas Sanfandila, Qro, 2005.

Hot mix asphalt materials, mixture design and construction. Napa research and education foundation 1996.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para presentación de trabajo. Bogotá: ICONTEC, 2010.

MARIN URIBE, Carlos Rodolfo y GUZMÁN MELÉNDEZ, María Rosa. Metodología de una estructura de pavimento utilizando los Módulos dinámicos obtenidos en laboratorio aplicando los métodos Marshall y Superpave. Revista de Ingeniería Universidad de Medellín, Vol. 6, 2007.

MARTÍNEZ BRINGAS, Claudia. FONSECA RODRÍGUEZ, Carlos. Empleo De Fibras En La Elaboración De Mezclas Asfálticas Para Pavimentos De Graduación Abierta – Cuadernos Fica- México 1999.

MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos de concreto asfáltico diseño y construcción. 3ª ed. Universidad de Nariño 2005.

PADILLA RODRIGUEZ, Alejandro. Ensayos de Laboratorio, Capitulo 5. Universidad Politécnica de Catalunya, 2004.

Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. NLT 159-86

SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Curso de laboratorio de pavimentos. Universidad del Cauca instituto de vías, 1983.

_____. Pavimentos: fundamentos teóricos Guías para el Diseño. Universidad Gran Colombia, 1984.

Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus. ASTM D1559-89

REPUBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Instituto nacional de vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras, 2007.

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL. MTC E504-1999.

THE ASPHALT INSTITUTE. Mix desing methods for asphalt concrete and other hot mix tipes, MS-2, mayo 1984.

ANEXOS

ANEXO A

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (Rice)

Es el método utilizado para determinar la densidad de la parte sólida de la briqueta, se lo deduce para cada porcentaje de asfalto en el ensayo Marshall y no se tienen en cuenta los vacíos del aire que se encuentran en las partículas cubiertas de asfalto.

EQUIPO

TAZA DE VACIO: Recipiente metálico o plástico con tapa transparente conectado al vacío la cual permita observar la salida de burbujas.

RECIPIENTE DE VACIO: Matraz con capacidad entre 200 y 1000 ml acompañado de los elementos para aplicarle el vacío necesario para el ensayo.

BOMBA DE VACIO: Para aplicarle el vacío a el recipiente de vacío.

MANÓMETRO: para medir la presión residual que no debe sobrepasar los 4 Kpa.
VÁLVULA DE ESCAPE: Facilita el ajuste del vacío.

BALANZA: con sensibilidad de 0.1 gr con al menos 3 decimales.

HORNO: con capacidad de temperatura de 110 ± 5 °C.

EQUIPO ADICIONAL: termómetro, guantes y agua.

PROCEDIMIENTO

Se lo determina siguiendo la norma INV – E 735 - 07 la siguiente expresión:

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde $A =$ *Peso de la muestra*
 $D =$ *Peso del envase (Matraz + agua)*
 $E =$ *Peso del envase (Matraz + agua + muestra)*

PESO ESPECÍFICO MAXIMO MEDIDO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTO METODO RICE

PROCEDENCIA: SAN FRANCISCO - PUTUMAYO
 DESCRIPCIÓN: MEZCLA TIPO MDC-2(INV-2007)

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Temperatura del agua °C	25	25	25	25	25	25
Factor de corrección	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Asfalto (%)	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Peso muestra (g)	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0	2.000,0
Peso matraz +muestra +agua (g)	6.445,3	6.433,3	6.430,5	6.445,3	6.420,6	6.419,0
Peso matraz +agua (g)	5.232,0	5.232,0	5.232,0	5.238,0	5.232,0	5.232,0
Volumen muestra (cm ³)	786,7	798,7	801,5	792,7	811,4	813,0
Volumen corregido a 25 °C (cm ³)	786,7	798,7	801,5	792,7	811,4	813,0
Peso específico máximo medido (g/cm³)	2,542	2,504	2,495	2,523	2,465	2,460

NORMA: INV-E-735

PESO ESPECÍFICO MAXIMO MEDIDO DE MEZCLAS CON ASFALTO MODIFICADO PARA PAVIMENTO METODO RICE

PROCEDENCIA: SAN FRANCISCO - PUTUMAYO
 DESCRIPCIÓN: MEZCLA TIPO MDC-2(INV-2007) CON ASFALTO MODIFICADO

Prueba N°	1	2	3
Temperatura del agua °C	25	25	25
Factor de corrección	1,0000	1,0000	1,0000
Polipropileno (%)	0,2	0,4	0,6
Asfalto (%)	4,5	5,0	5,5
Peso muestra (g)	2.000,0	2.000,0	2.000,0
Peso matraz +muestra +agua (g)	6.465,3	6.408,3	6.392,0
Peso matraz +agua (g)	5.232,0	5.232,0	5.232,0
Volumen muestra (cm ³)	766,7	823,7	840,0
Volumen corregido a 25 °C (cm ³)	766,7	823,7	840,0
Peso específico máximo medido (g/cm³)	2,609	2,428	2,381

NORMA: INV-E-735

ANEXO B

ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
 INV E-123

1. CODIGO
2. PAGINA
3. VERSION
VIGENTE A PARTIR

OBRA: TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO **MUESTRA No:** 1
DESCRIPCIÓN: MATERIAL GRUESO **FUENTE:** SAN FRANCISCO
PROPIETARIO:

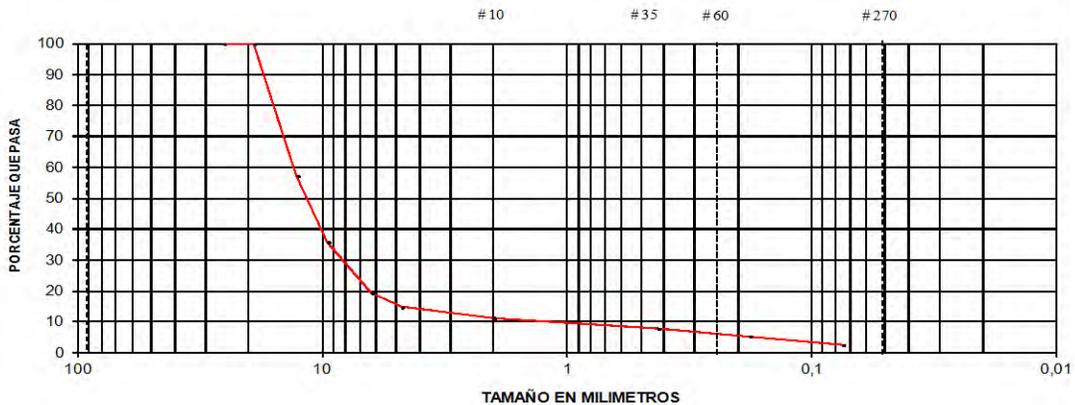
GRADACIÓN

Peso inicial	25273				
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
1	25,4	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,05	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	10786	42,68	42,68	57,32
3/8	9,525	5410	21,41	64,08	35,92
1/4	6,3	4177	16,53	80,61	19,39
4	4,75	1158	4,58	85,19	14,81
10	2	862	3,41	88,60	11,40
40	0,425	900	3,56	92,17	7,83
80	0,18	606	2,40	94,56	5,44
200	0,075	718	2,84	97,40	2,60
P-200		656,0	2,60	100,00	0,00

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 9,107142857$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 3,321568627$$

TAMICES



OBSERVACIONES:

8. DATOS DE ELABORACIÓN

CARGO:	25.1. ELABORADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.2. APROBADO POR: Director de Dependencia
NOMBRE:			
FIRMA:			



UNIVERSIDAD DE NARIÑO

SECCIÓN DE LABORATORIOS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA

INV E-123

1.CODIGO

2.PAGINA

3.VERSION

VIGENTE A PARTIR DE

OBRA: TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO **MUESTRA No:** 1
DESCRIPCIÓN: MATERIAL FINO **FUENTE:** SAN FRANCISCO
PROPIETARIO:

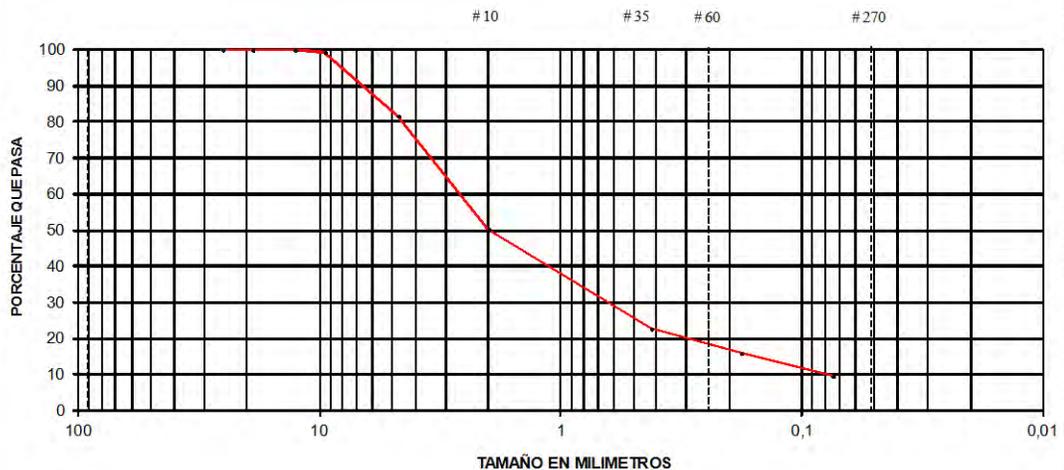
GRADACIÓN

Peso inicial	3351	Peso lavado		3061	
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
1	25,4	0	0,00	0,00	100,00
3/4	19,05	0	0,00	0,00	100,00
1/2	12,7	0	0,00	0,00	100,00
3/8	9,525	24,2	0,72	0,72	99,28
4	4,75	592,2	17,67	18,39	81,61
10	2	1046,6	31,23	49,63	50,37
40	0,425	925,2	27,61	77,24	22,76
80	0,18	227,2	6,78	84,02	15,98
200	0,075	214,4	6,40	90,41	9,59
	P-200	24	0,72	91,13	8,87

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 32,5$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 2,03125$$

TAMICES



OBSERVACIONES:

8. DATOS DE ELABORACIÓN

CARGO:	25.1. ELABORADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.2. APROBADO POR: Director de Dependencia
NOMBRE:			
FIRMA:			

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES INV E-218 Y INV E-219			1. CODIGO				
				2. PAGINA				
				3. VERSIÓN				
				4. VIGENTE A PARTIR DE:				
OBRA _____		TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA: 1				
DESCRIPCIÓN: _____				FUENTE SAN FRANCISCO				
PROPIETARIO: _____								
ENSAYO No		1	2	3				
Gradación utilizada		B	B	B				
No de revoluciones		500	500	500				
Peso de la muestra inicial (5000	5000	5000				
Peso de la muestra después		3882	3774	3856				
% Desgaste = $\{(P_i - P_f) / P_i\} *$		22,36	24,52	22,88				
Coeficiente de uniformidad		9,11	9,11	9,11				
Observaciones _____								
Datos sobre Gradación, carga abrasiva y Revoluciones								
Tamiz		A	B	C	D	1	2	3
gradación								
2	1 1/2					5000 + 50	5000 + 50	
1 1/2		1250 + 25					5000 + 25	5000 + 25
1	3/4	1250 + 25						5000 + 25
3/4	1/2	1250 + 25	2500 + 10					
1/2	3/8	1250 + 25	2500 + 10					
3/8	1/4			2500 + 10				
1/4	No 4			2500 + 10				
No 4	No 8				5000 + 10			
Peso total de muestra (gr)		5000 + 10	5000 + 10	5000 + 10	5000 + 10	10000 + 100	10000 + 75	10000 + 50
No de esferas		12	11	8	6	12	12	
peso de esferas (gr)		5000 + 25	4584 + 25	3330 + 20	2500 + 15	5000 + 25	5000 + 25	5000 + 25
No de Revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000
8. DATOS DE ELABORACIÓN								
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio		Director de Dependencia			
NOMBRE:								
FIRMA:								

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS DESGASTE EN MICRO-DEVAL INV E-238			1.CODIGO
				2.PAGINA
				3.VERSIÓN
				4.VIGENTE A PARTIR DE:
OBRA TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO MUESTRA: 1				
DESCRIPCIÓN: _____ FUENTE SAN FRANCISCO				
PROPIETARIO: _____				
Gradación Tabla 1	Pasante Tamiz	Retenido Tamiz	Masa g	
	3/4"	5/8"	375,6	
	5/8"	1/2"	374,9	
	1/2"	3/8"	749,9	1500,4
ENSAYO No				
Gradación utilizada		TABLA 1		
No de revoluciones		12000 + 100		
Peso de la muestra inicial (Pi	1500,4		
Peso de la muestra después	Pf	1280,2		
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} *$		14,68	
Coeficiente de uniformidad				
Observaciones _____				
8. DATOS DE ELABORACIÓN				
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio	Director de Dependencia
NOMBRE:				
FIRMA:				

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1. CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2. PAGINA		
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO PORSULFATO DE SODIO			3. VERSIÓN		
	INV E-220			4. VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:			FUENTE	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:						
ANALISIS CUANTITATIVO						
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	83,5	16,5	17,67	3,3
No 4	No 8	100	87,5	12,5	31,23	4,4
No 8	No 16	100	92,5	7,5	27,61	2,3
No 16	No 30	100	91,5	8,5	6,78	0,6
No 30	No 50	100	96	4	6,40	0,3
PERDIDA TOTAL CORREGIDA						10,8
SOLUCIÓN UTILIZADA:			SULFATO DE SODIO			
OBSERVACIONES						
		25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:		
CARGO:			Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia		
NOMBRE:						
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1. CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2. PAGINA		
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO PORSULFATO DE MAGNECIO			3. VERSIÓN		
	INV E-220			4. VIGENTE A PARTIR DE		
OBRA	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:			FUENTE	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:						
ANALISIS CUANTITATIVO						
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometría	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100	95,3	4,7	17,67	0,9
No 4	No 8	100	96,7	3,3	31,23	1,1
No 8	No 16	100	95,1	4,9	27,61	1,5
No 16	No 30	100	89,3	10,7	6,78	0,8
No 30	No 50	100	88,6	11,4	6,40	0,8
PERDIDA TOTAL CORREGIDA						5,2
SOLUCIÓN UTILIZADA:			SULFATO DE MAGNECIO			
OBSERVACIONES						
		25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. A PROBA DO POR:		
CARGO:			Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia		
NOMBRE:						
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO CON SULFATO DE SODIO INV E - 220				1. CODIGO		
					2. PAGINA		
					3. VERSIÓN		
					4. VIGENTE APARTIR DE:		
OBRA		TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No		1	
DESCRIPCIÓN:		FUENTE SAN FRANCISCO					
PROPIETARIO:							
ANALISIS CUANTITATIVO							
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida	
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\frac{P1-P2}{P1} \times 100$	original	Corregida	
		0	0	0			
3/4"	1/2"	669,3	649,8	2,9	42,68	1,24	
1/2"	3/8"	330	271	17,9	21,41	3,83	
3/8"	No 4	300	219,2	26,9	21,11	5,69	
		Perdida total corregida:			Σ	10,76	
ANALISIS CUALITATIVO							
Fracciones		No inicial de	Numero de partículas despues del ensayo				
Pasa	Retenido	partículas	Enteras	Partidas	Porosas	Foliadas	Agrietadas
2 1/2"	1 1/2"						
1 1/2"	3/4"	43	42	0	0	1	1
Otras Fracciones				Si _____	Si _____	Si _____	Si _____
				No _____	No _____	No _____	No _____
SOLUCIÓN UTILIZADA:			SULFATO DE SODIO				
Observaciones							
Fracciones a ensayar y cantidades a pesar en gramos							
Fracción No 1		Fracción No 2		Fracción No 3		Fracción No 4	
2 1/2" - 2"	3000 ± 300	1 1/2" - 1"	1000 ± 50	3/4" - 1/2"	670 ± 10	3/8" - No 4	300 ± 5
2" - 1 1/2"	2000 ± 200	1" - 3/4"	500 ± 30	1/2" - 3/8"	330 ± 5		
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia		
NOMBRE:							
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1. CODIGO			
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2. PAGINA			
	ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO CON SULFATO DE MAGNECIO			3. VERSIÓN			
	INV E - 220			4. VIGENTE APARTIR DE:			
OBRA	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1			
DESCRIPCIÓN:				FUENTE	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:							
ANALISIS CUANTITATIVO							
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida	
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$(P1-P2)/P1 \cdot 100$	original	Corregida	
		0	0	0			
3/4"	1/2"	670,8	596,4	11,1	42,68	4,73	
1/2"	3/8"	330	311	5,8	21,41	1,23	
3/8"	No 4	300	274,9	8,4	21,11	1,77	
Perdida total corregida:					Σ	7,73	
ANALISIS CUALITATIVO							
Fracciones		No inicial de	Numero de partículas despues del ensayo				
Pasa	Retenido	partículas	Enteras	Partidas	Porosas	Foliadas	Agrietadas
2 1/2"	1 1/2"				0		
1 1/2"	3/4"	48	46	1		1	1
Otras Fracciones				Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____	Si _____ No _____
SOLUCIÓN UTILIZADA:			SULFATO DE MAGNECIO				
Observaciones							
Fracciones a ensayar y cantidades a pesar en gramos							
Fracción No 1		Fracción No 2		Fracción No 3		Fracción No 4	
2 1/2" - 2"	3000 ± 300	1 1/2" - 1"	1000 ± 50	3/4" - 1/2"	670 ± 10	3/8" - No 4	300 ± 5
2" - 1 1/2"	2000 ± 200	1" - 3/4"	500 ± 30	1/2" - 3/8"	330 ± 5		
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia		
NOMBRE:							
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS INV E - 227/02				1.CODIGO	
					2.PAGINA	
					3.VERSIÓN	
					4.VIGENTE APARTIR DE:	
OBRA		TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1	
DESCRIPCIÓN:				FUENTE	SAN FRANCISCO	
PROPIETARIO:						
TAMIZ		PESO DE LA	PESO MATERIAL	PORCENT. CON	PORCENT. RETENIDO	CÁLCULO FINAL
		MUESTRA	CON CARAS FRAC.	CARAS FRACTUR.	GRADAC. ORIGINAL	
PASA	RETENIDO	(Grs)	(Grs)	(B/A X 100)	(%)	(C X D)
		A	B	C	D	E
3/4"	1/2"	1.200,0	1.078,3	89,9	57,32	5.150,9
1/2"	3/8"	300,0	275,8	91,9	35,92	3.301,9
TOTAL		1.500,0	1.354,1	181,8	93,2	8.452,7
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$			90,7 %	
ESPECIFICACIÓN		BASE GRANULAR		50% MÍNIMO		
		MEZCLA ASFÁLTICA		75% MÍNIMO		
		CONCRETO		60% MÍNIMO		
OBSERVACIONES:						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
NOMBRE:						
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1. CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2. PAGINA		
	INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE AGREGADOS			3. VERSION		
	INV E-230 Y 240 (5:1)			4. VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA:	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:			FUENTE	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:						
INDICE DE ALARGAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Alargadas	PORCENTAJE Part. Alargadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E= (Cx D)
2"	1-1/2"	0	0	0,0	0,0	0,0
1-1/2"	1"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	3/4"	0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	1/2"	1360,1	526,3	38,7	42,68	1651,5
1/2"	3/8"	485,4	219,6	45,2	21,41	968,4
3/8"	1/4"	165,6	40,2	0,0	16,53	0,0
TOTAL		2011,1	786,1	83,9	80,6	2619,9
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =			TOTAL E / TOTAL D		33 %	
INDICE DE APLANAMIENTO						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Aplanadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	Gradación Original	E=(Cx D)
2"	1-1/2"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1-1/2"	1"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	1/2"	1360,1	526,3	38,7	42,68	1651,5
1/2"		485,4	219,6	45,2	21,41	968,4
3/8"	1/4"	165,6	77,9	47,0	16,53	777,5
TOTAL		2011,1	823,8	131,0	80,6	3397,4
ÍNDICE DE APLANAMIENTO =			TOTAL E / TOTAL D		42 %	
INDICE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	CANTIDAD MATERIAL Part. Aplanadas y alargadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas y alargadas		
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (Und)	B (Und)	C= (B/Ax100)		
3/4"	1/2"	100,0	5	5,0		
1/2"	3/8"	100,0	2	2,0		
PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS (5:1)				3,5		
OBSERVACIONES:	NO SE RECOMIENDA PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE					
8. DATOS DE ELABORACION						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
NOMBRE:						
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA INV E - 133/07		1.CODIGO				
			2.PAGINA				
			3.VERSIÓN				
			4.VIGENTE APARTIR DE:				
OBRA _____ TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO							
DESCRIPCIÓN: _____							
PROPIETARIO: _____		FUENTE SAN FRANCISCO					
ENSAYO N°		1			2		
PROBETA	No.	1	2	3	1	2	3
LECTURA ARCILLA	(mm)	145,0	147,0	154,0	143,0	123,0	143,0
LECTURA ARENA	(mm)	89,0	100,0	94,0	97,0	81,0	82,0
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	61	68,0	61	68	65,9	57
PROMEDIO	(%)	63			64		
Condiciones de la arena para el ensayo Húmeda _____ Seca al aire <input checked="" type="checkbox"/> _____ Seca al horno _____							
ESPECIFICACION		SUB-BASE		25% MÍNIMO			
		BASE GRANULAR		30% MÍNIMO			
		MEZCLA ASFÁLTICA		50% MÍNIMO			
		CONCRETO		50% MÍNIMO			
Observaciones _____							
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia			
NOMBRE:							
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INV E - 223				1. CODIGO		
					2. PAGINA		
					3. VERSIÓN		
					4. VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA _____ TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No _____ 1					
DESCRIPCIÓN: _____		FUENTE _____		SAN FRANCISCO			
PROPIETARIO: _____							
ENSAYO No							
			1	2	3	4	Promedio
Temperatura de ensayo	°C	-	-	-	-	-	
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	1657,9	1685,3	1305,5	1469,2	
Peso de la muestra en el agua	Wa	gr	1060,4	1080,8	818,3	941	
Peso de la muestra seca	Ws	gr	1636,5	1663,5	1287	1448	
Ws - Wa	gr	576,1	582,7	468,7	507		
Wsss - Wa	gr	597,5	604,5	487,2	528,2		
Densidad Nominal	= Ws / Ws-Wa	gr/cm ³	2,841	2,855	2,746	2,856	2,814
Densidad Aparente	= Ws / Wsss - Wa	gr/cm ³	2,739	2,752	2,642	2,741	2,718
Densidad Aparente SSS	= Wsss / Wsss -	gr/cm ³	2,775	2,788	2,680	2,782	2,756
Absorción	= (Wsss - Ws / Ws) * 10	%	1,308	1,310	1,694	1,464	1,444
Peso canastilla	gr	133,3	147,6	141	148,6		
peso canastilla + muestra sss	gr	1791,2	1832,9	1446,5	1617,8		
peso muestra sss	gr	1657,9	1685,3	1305,5	1469,2		
peso canastilla + muestra en el agua	gr	1108,8	1129,2	866,7	989,4		
Peso canastilla en el agua	gr	48,4	48,4	48,4	48,4		
Peso muestra en el agua	gr	1060,4	1080,8	818,3	941		
Peso muestra seca + recipiente	gr	1769,8	1811,1	1428	1596,6		
Peso recipiente	gr	133,3	147,6	141	148,6		
Peso muestra seca	gr	1636,5	1663,5	1287	1448		
Observaciones _____ _____ _____							
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:				
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia				
NOMBRE:							
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO			1.CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA		
	GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS			3.VERSIÓN		
	INV E - 222			4.VIGENTE APARTIR DE:		
OBRA	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA N.º	1		
DESCRIPCIÓN:			FUENTE:	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo	°C		21	22	22,5	
Peso de la muestra sss	W _{sss}	gr	250	250	250	
Peso matraz + agua	W _{ma}	gr	647,3	639,1	641,6	
Peso matraz + agua + muestra	W _{ma}	gr	808,3	800,4	803,3	
Peso muestra seca	W _s	gr	249,4	249,3	249	
Densidad Nominal = $W_s / W_s + W_{ma} - W_{mam}$		ar/cm ³	2,821	2,833	2,852	2,8355
Densidad Aparente = $W_s / W_{sss} + W_{ma} - W_{mam}$		ar/cm ³	2,802	2,811	2,820	2,8109
Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / W_{sss} + W_{ma} - W_{mam}$		ar/cm ³	2,809	2,818	2,831	2,8196
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$		%	0,241	0,281	0,402	0,3077
Peso muestra seca + recipiente	gr		391,9	362,2	390,8	
Peso recipiente	gr		142,5	112,9	141,8	
Peso muestra seca	gr		249,4	249,3	249	
Observaciones						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:						
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO		1.CODIGO			
	SECCIÓN DE LABORATORIOS DETERMINACION DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS DE AGREGADO GRUESO INV E - 237		2.PAGINA			
			3.VERSIÓN			
			4.VIGENTE APARTIR DE:			
OBRA	TESIS DE INVESTIGACION - GABRIEL BURBANO		MUESTRA No	1		
DESCRIPCIÓN:			FUENTE:	SAN FRANCISCO		
PROPIETARIO:						
ENSAYO No			1	2	3	4
Peso de la muestra para humedad inicial Mh	gr	1974				
Peso de la muestra para humedad final Ms	gr	1962				
Peso de la muestra para ensayo inicial Mhe	gr	2026				
Peso de la muestra para ensayo final M	gr	1990,1				
Humedad de la muestra $w = \frac{Mh - Ms}{Ms}$	gr/cm ³	0,006				
Cantidad de Masa seca $Mse = \frac{Mhe}{(1 + w)}$	gr/cm ³	2013,68				
Impurezas $= Mse - M$	gr/cm ³	23,58				
Coef. De impurezas $= \frac{Mse - M}{Mse} * 100$	%	0,012				
Observaciones						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
		25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:						
FIRMA:						

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS ASFALTO BARRANCABERMEJA



GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA
COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD
Reporte de resultados de ensayo de laboratorio

11/06/2011 10:44:04 AM

Producto: ASFALTO 60/70
Número de muestra: 203.021.972
Fecha de Vo.Bo: 09-06-2011 21:08:15
Almacenamiento: K0200

Vo Bo: SI

ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	METODO
VISCOSIDAD A 60 C	cP	155000	REPORTAR	ASTM D 4402
VISCOSIDAD A 60 C	cP	155000	REPORTAR	ASTM D 4402
VISCOSIDAD A 80 C	cP	15520	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 100 C	cP	2764	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 135 C	cP	302.5	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 150 C	cP	150.5	REPORTAR	
DUCTILIDAD	cm	140	100 MINIMO	ASTM D 113 D
GRAVEDAD API	Grados API	7.2	REPORTAR	ASTM D 4052
GRAVEDAD API	Grados API	7.2	REPORTAR	ASTM D 4052
DENSIDAD A 15 °C	kg/m3	1019.6	REPORTAR	
PENETRACION A 25 C (77 F)	mm/10	70	60 MINIMO -70 MAXIM	ASTM D 5
PENETRACION A 25 C (77 F)	mm/10	70	60 MINIMO -70 MAXIM	ASTM D 5
INDICE DE PENETRACION	N/A	-1	REPORTAR	
PERDIDA DE MASA (RTFOT)	g/100g	0.33	1 MAXIMO	ASTM D 2872
PUNTO ABLANDAMIENTO	°C	47.6	45 MINIMO -55 MAXIM	ASTM D 36
PUNTO DE INFLAMACION	°C	302	232 MINIMO	ASTM D 92
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	%	99.9	99 MINIMO	ASTM D 2042
VoBo	N/A	SI	REPORTAR	VISTO BUENO
VoBo	N/A	SI	REPORTAR	VISTO BUENO
COMENTARIO	N/A	NINGUNO	REPORTAR	

VoBo. Nombre:

Claudia Patricia Martínez Sarmiento

NOTA: Si tiene alguna duda en cuanto al producto favor comunicarse con la Gerencia de Comercialización.
* COORDINACIÓN DE COMERCIALIZACION BARRANCABERMEJA: (097620) 9900/9907 FAX (097620) 9071 Refinería ECOPETROL
* COORDINACIÓN DE PETROQUIMICOS E INDUSTRIALES BOGOTA: (091234) 5001/5091/5668/4670/5671/5685 FAX. (091231) 5565/5536 Calle 37 No. 7-43 Piso 8.
* COORDINACIÓN DE COMBUSTIBLES BOGOTA: (091234) 5001/5091/5667/5491. FAX (091231) 5585/5538. Calle 37 N.O. 7-43 Piso 8.
Para tramitar un reclamo se requiere comunicación escrita informando producto, No. de Factura y Objeto del Reclamo, además muestra del producto (Líquidos un galón, Sólidos 3 Kílos) Para el Polietileno adicionar el número de lote.
>>

Los Métodos ASTM D 1126, ASTM D 1262, UNE-EN 14111, ASTM D 2710, ASTM D 2500, ASTM D 5773, ASTM D 8371, EN 14078, ASTM D 3688, BS EN 14107, NF EN 14638, UNE EN 14103, ASTM D 3338, ASTM D6079, ASTM D127, ASTM D874, ASTM D5708, BS EN 12882, ASTM E 203, ISO 3961, ASTM D5800, ASTM E223, STANDARD METHODS 4500 Cl - C, STANDARD METHODS 4500 Cl - D, ASTM D 512A, STANDARD METHODS 4500 NH3, STANDARD METHODS 4500 CO2, STANDARD METHODS 5520 C, STANDARD METHODS 5520 B, STANDARD METHODS 5520 F, ASTM C 1111, ASTM D 1097, ASTM D 1126, ASTM D 1262, ASTM D 1976, SM 2540 B, SM 2540 C, SM 2540 D, ASTM D-3279, ASTM D 1180, ASTM D 1763, ASTM D 5, ASTM D 36, ASTM D 4402, ASTM D 2042, ASTM D 2872, ASTM D 113, ASTM D 6045, ASTM D 4176, ASTM D6584, ASTM D 1977, ASTM D4893, ASTM D 1500, ASTM D 92, ASTM D 1208, ASTM D 848, ASTM D 4482, ASTM D 852, ASTM D 1786, ASTM D 4377, ASTM D 4007, ASTM D 7469, ASTM D 3054 A y B, ASTM D 1078, ASTM D 2887, ASTM D 850, ASTM D 813, ASTM D 6468, ASTM D 4737, ASTM D 8217, ASTM D 8352, ASTM D1159, ASTM D1133, UNE-EN 14112, ASTM D2158, ASTM D2163, ASTM D-3278, ASTM D5504, ASTM D2420, ASTM D 909, ASTM D 873, ASTM D 2392, ASTM D 525, ASTM D 5058, UOP 282, ASTM D 5191, ASTM D 5580, ASTM D 2700, ASTM D 2699, ASTM D 1838, ASTM D 2598, ASTM D 6867, ASTM D 130, ASTM D 5453, ASTM D 6560, ASTM D 381, ASTM D 1094, ASTM D 4529, UOP 803, ASTM D 1218, ASTM D 5948, ASTM D 93, ASTM D 492, ASTM D 4530, ASTM D 4052, ASTM D 5002, ASTM D 97, ASTM D 445 procedimiento A y B, ASTM D 2270, ASTM D 664, ASTM D 86, ASTM D 3227, ASTM D 4264, ASTM D 2822, ASTM D 5708 Procedimiento Ay B, ASTM D 6672, ASTM D 1840, ASTM D 3797, ASTM D 1401, ASTM D 87, ASTM D 721, ASTM D3220, CID-CID-138 de ECP, ASTM D 3351, DOW OP 32 Modificado ECP, ASTM D5776, ASTM D2712, ASTM D 1236, ASTM D 792, ASTM D 6290, ASTM D 1821, ASTM D 5630, ASTM D 1930, ASTM D 156, ASTM D 1219, ASTM D 5188, ASTM D 2390, ASTM D 3242, ASTM D 3948, ASTM D 811, ASTM D 3241, ASTM D 1322, ASTM D1208, ASTM D 2388, ASTM D 6860, ASTM D 58, ASTM D 1321, se encuentran acreditados bajo la norma ISO 17025 VERSION 2005, según certificado de acreditación del 23 de Junio de 2010, emitido por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACION DE COLOMBIA - ONAC.



GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA
 COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD
 Reporte de resultados de ensayo de laboratorio

11/06/2011 10:44:04 AM

Producto: ASFALTO 60/70
 Número de muestra: 203.021.972
 Fecha de Vo.Bo: 09-06-2011 21:08:15
 Almacenamiento: K0200

Vo Bo: SI

ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	METODO
CURVA REOLÓGICA				
N/A: No Aplica				Comentario: NINGUNO

VoBo. Nombre:

Claudia Patricia Martínez Sarmiento

NOTA: Si tiene alguna duda en cuanto al producto favor comunicarse con la Gerencia de Comercialización:

- * COORDINACIÓN DE COMERCIALIZACION BARRANCABERMEJA: (097620) 9900/9907 FAX (097620) 9071 Refinería ECOPETROL
- * COORDINACIÓN DE PETROQUÍMICOS E INDUSTRIALES BOGOTÁ: (091234) 5001/5091/5668/4670/5671/5666 FAX. (091231) 5565/5538 Calle 37 No. 7-43 Piso 8.
- * COORDINACIÓN DE COMBUSTIBLES BOGOTÁ: (091234) 5001/5081/5667/5491. FAX (091231) 5565/5538. Calle 37 N.O. 7-43 Piso 8.

Para tramitar un reclamo se requiere comunicación escrita informando producto, No. de Factura y Objeto del Reclamo, además muestra del producto (Líquidos un galón, Sólidos 3 Kilos). Para el Polietileno adicionar el número de lote.

>>

Los Métodos ASTM D 1125, ASTM D 1252, UNE-EN 14111, ASTM D 2710, ASTM D 2500, ASTM D 5773, ASTM D 8371, EN 14078, ASTM D 2688, BS EN 14107, NF EN 14538, UNE EN 14103, ASTM D 3338, ASTM D8078, ASTM D127, ASTM D874, ASTM D5708, BS EN 12082, ASTM E 203, ISO 3981, ASTM D5880, ASTM E223, STANDARD METHODS 4500 CI-C, ASTM D 512A, STANDARD METHODS 4500 B, STANDARD METHODS 4500 CO2, STANDARD METHODS 5520 C, STANDARD METHODS 5520 B, STANDARD METHODS 5520 F, ASTM C 1111, ASTM D 1087, ASTM D 1126, ASTM D 1293, ASTM D 1970, SM 2540 B, SM 2540 C, SM 2540 D, ASTM D-3276, ASTM D 1180, ASTM D 1783, ASTM D 5, ASTM D 38, ASTM D 4402, ASTM D 2042, ASTM D 2872, ASTM D 113, ASTM D 6045, ASTM D 4176, ASTM D6584, ASTM D 1977, ASTM D4868, ASTM D 1500, ASTM D 82, ASTM D 1209, ASTM D 848, ASTM D 4492, ASTM D 852, ASTM D 1798, ASTM D 4377, ASTM D 4007, ASTM D 7168, ASTM D 3054 A y B, ASTM D 1078, ASTM D 2887, ASTM D 850, ASTM D 813, ASTM D 6488, ASTM D 4737, ASTM D 6217, ASTM D 6352, ASTM D1159, ASTM D1133, UNE-EN 14112, ASTM D2158, ASTM D2183, ASTM D-3276, ASTM D5594, ASTM D2420, ASTM D 509, ASTM D 873, ASTM D 2382, ASTM D 525, ASTM D 5059, UOP 262, ASTM D 5191, ASTM D 5980, ASTM D 2708, ASTM D 2699, ASTM D 1838, ASTM D 2598, ASTM D 6897, ASTM D 130, ASTM D 5463, ASTM D 8550, ASTM D 381, ASTM D 1084, ASTM D 4529, UOP 603, ASTM D 1218, ASTM D 5849, ASTM D 93, ASTM D 482, ASTM D 4530, ASTM D 4052, ASTM D 5002, ASTM D 87, ASTM D 445 procedimiento A y B, ASTM D 2270, ASTM D 864, ASTM D 88, ASTM D 3227, ASTM D 4284, ASTM D 2622, ASTM D 5708 Procedimiento A y B, ASTM D 5872, ASTM D 1840, ASTM D 3797, ASTM D 1401, ASTM D 87, ASTM D 721, ASTM D3230, CID-CID-136 de ECP, ASTM D 3351, DOW OP 32 Modificado ECP, ASTM D5776, ASTM D2712, ASTM D 1238, ASTM D 782, ASTM D 6290, ASTM D 1821, ASTM D 5830, ASTM D 1353, ASTM D 156, ASTM D 1318, ASTM D 5186, ASTM D 2380, ASTM D 3242, ASTM D 3948, ASTM D 811, ASTM D 3241, ASTM D 1322, ASTM D1286, ASTM D 2386, ASTM D 6690, ASTM D 56, ASTM D 1321, se encuentran acreditados bajo la norma ISO 17025 VERSION 2005, según certificado de acreditación del 23 de Junio de 2010, emitido por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA - ONAC.

ANEXO C

RESULTADOS DE DETERMINACIÓN DEL %
ÓPTIMO DE ASFALTO CON EL ENSAYO
MARSHALL POR EL MÉTODO DE LA NAPA

METODO DE LA NAPA	Especificación
RESUMEN MARSHALL :	General
Contenido de Asfalto (%):	5.8%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.420
Estabilidad (kg):	1225
Flujo (mm):	3.07
Vacíos con aire (%):	4.0
Vacíos de Agregados Minerales (%):	15.2
Vacíos Llenos con asfalto (%):	75.0
Relación Llenante-Ligante:	1.15
Temperatura de compactación (°C):	130

Resumen resultados ensayo Marshall por el método de la NAPA

METODO DE LA NAPA	
RESUMEN MARSHALL MODIFICADO:	
Contenido de Asfalto (%):	5.75%
Contenido de Polipropileno (%):	0.35%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.359
Estabilidad (kg):	1360
Flujo (mm):	2.7
Vacíos con aire (%):	4.0
Vacíos de Agregados Minerales (%):	17.15
Vacíos Llenos con asfalto (%):	77.5
Relación Llenante-Ligante:	1.20
Temperatura de compactación (°C):	130

Resumen resultados ensayo Marshall por el método de la NAPA

MARSHALL	CONVENCIONAL	MODIFICADO
Contenido de Asfalto (%):	5.8%	5.75%
Contenido de Polipropileno (%):	0.0%	0.35%
Peso Unitario (gr/cm ³):	2.420	2.359
Estabilidad (kg):	1225	1360
Flujo (mm):	3.07	2.7
Vacíos con aire (%):	4.0	4.0
Vacíos de Agregados Minerales (%):	15.20	17.15
Vacíos Llenos con asfalto (%):	75.0	77.5
Relación Llenante-Ligante:	1.15	1.20
Temperatura de compactación (°C):	130	130

Comparación resultados Marshall con asfalto normal y modificado

ANEXO D

DETERMINACIÓN DE TEMPERATURAS DE
COMPACTACIÓN Y MEZCLADO EN BASE A LA
CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

DATOS INICIALES:

TEMPERATURA	VISCOSIDAD
60,00	155000,00
80,00	15520,00
100,00	2724,00
135,00	302,00
150,00	150,00

RESULTADOS:

Viscosidad de compactación	250.0 – 310.0 cp
Viscosidad de mezclado	150.0 – 190.0 cp
Temperatura de compactación	134.8– 139.0°C
Temperatura de mezclado	145.0 – 150.0 °C

Curva susceptibilidad térmica del asfalto Viscosidad vs temperatura

