

**MEZCLAS DE ASFALTOS NATURALES CON ASFALTOS DE REFINERÍA PARA
PRODUCIR ASFALTOS DUROS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON UN
MODULO ALTO**

**ADRIANA MÉNDEZ MORALES
YUDITH MARITZA NÚÑEZ PARRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

2008

**MEZCLAS DE ASFALTOS NATURALES CON ASFALTOS DE REFINERÍA PARA
PRODUCIR ASFALTOS DUROS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON UN
MODULO ALTO**

**ADRIANA MÉNDEZ MORALES
YUDITH MARITZA NÚÑEZ PARRA**

Tesis de grado modalidad investigación

Para optar el título de:

Ingeniero(a) Civil

Director:

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

Ingeniero Civil, M. Sc., Ph D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
BUCARAMANGA**

2008

A Dios por permitirme sacar adelante las metas trazadas y porque en todo momento estuviste a nuestro lado.

A mis maravillosos padres porque siempre me apoyaron incondicionalmente y son mi fortaleza y valentía para continuar hacia adelante, a mis dos hermanos por todo su apoyo y colaboración y todos los amigos que de una u otra forma ayudaron a que este logro se alcanzara.

A ti Yudith por confiar en mí y creer en el buen equipo que formamos, y a ti Carlos por tu apoyo incondicional en la realización de este proyecto.

Adriana Méndez Morales

A Dios por que cada día que estuvimos en dificultades en nuestro proyecto nos mandaste un angelito que nos ayudaba y nos sacaba del apuro....

A ti mamá por ser la persona más incondicional en mi vida la persona que me ha brindado todo su apoyo y que siempre ha creído en mi, a mis hermanos por su colaboración y apoyo, a mi padre que de una u otra forma hizo parte de mi logro

A ti Adriana porque gracias al equipo que formamos hoy llegamos a la culminación de este proyecto.

Yudith Maritza Núñez Parra

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a todas las personas que con su apoyo y colaboración hicieron que este logro se hiciera realidad.

Al Ingeniero Eduardo Castañeda por su orientación

A Ambrosio Carrillo Por brindarnos su colaboración incondicional

A Guillermo Ramírez Por su tiempo y colaboración

A Jairo Hernández por aguantarnos tanto

A nuestros amigos geólogos por toda su colaboración en campo

A Laura por ser esa amiga incondicional.

A Néstor y Jaime por brindarnos siempre su apoyo y orientación (gracias de corazón)

A la Universidad Pontificia Bolivariana por su cordialidad, y colaboración prestada.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. MARCO TEORICO	2
1.1 Características de los materiales	2
1.1.1 El asfalto	2
1.1.2 Composición del asfalto	2
1.1.3 Asfaltos naturales	3
1.1.3.1 Yacimiento de asfaltita	3
1.1.3.2 Asfaltos de alto contenido de bitumen (asfaltitas duras).....	3
1.1.3.3 Caracterización física de las asfaltitas.....	4
1.4 Asfaltos de refinería.....	6
1.5 Mezclas en caliente.....	7
1.5.2 Mezclas de alto módulo – MAM.....	8
1.6 Estudios realizados.....	9
2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	14
2.1. DESCRIPCIÓN	14
2.2. Materiales empleados	14
2.2.1. Agregado Mineral	14
2.2.1.1 Procedencia:	14
2.2.1.2 Tamaño Máximo Nominal	14
2.2.2 Asfalto.....	15
2.2.2.1 Asfalto de Refinería.....	15
2.2.2.2 Asfalto natural (Asfaltita)	15
2.2.2.3 Pruebas realizadas a la combinación de asfalto y asfaltita.....	18
2.2.2.3.1 Ensayo de penetración (INV E-706-07).....	19
2.2.2.3.2 Ductilidad (INV E-702-07.).....	20
2.2.2.3.3 Punto de Ablandamiento Norma INV E-712-07.....	20
2.2.2.3.4 Solubilidad en Tricloroetileno I.V.E – 713 (ASTM D-2042).....	22
2.2.2.3.5 Punto de Llama Mediante la Copa Abierta Cleveland I.N.V. E – 709. 23	
2.2.2.3.6 Ensayo de película delgada (TFOT) Norma INV E-721-07	24
2.2.2.3.7 Viscosidad Dinámica con viscosímetro Brookfield N. CMT.4.05.002 . 24	

2.2.2.3.8	Contenido de Parafinas (EN 12606-1 et -2)	25
2.2.2.3.9	Determinación Porcentaje Optimo de Asfalto (asfalto +asfaltita)	26
2.3.	Diseño y fabricación de probetas	28
2.3.1	Metodología usada para la fabricación de probetas.	30
2.4.	PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS	31
2.4.1	Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados I.N.V. E – 734 – 07.	31
2.4.2	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmm) y Densidad de mezclas asfálticas para pavimentos I.N.V. E – 735 – 07.	32
2.4.3	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas INV E-736-07.	32
2.4.4	Modulo Elástico bajo carga monofónica (7.5 °C)	34
2.4.5	CREEP sin confinar (carga estática - 60°C)	35
2.4.6	Estabilidad y Flujo (INV. E – 748)	37
3.	RESULTADOS	38
3.1	Agregados	38
3.2.	Caracterización de Probetas	39
3.2.1	Nomenclatura.	39
3.2.2	Geometría	39
3.3.1	Penetración	40
3.2.2	Ductilidad	41
3.2.3	Punto de ablandamiento	42
3.2.4	Solubilidad en tricloroetileno	42
3.2.5	Punto de llama	42
3.2.7	Contenido de parafina:	43
3.3	Ensayos realizados a las probetas	46
3.3.1	Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas especímenes parafinados.	46
3.3.2	Gravedad específica máxima teórica (Gmm) de mezclas asfálticas para pavimentos.	46
3.3.4	Modulo elástico de mezclas asfálticas	49
3.3.5	CREEP los valores y tabla de datos de cada probeta están en anexo B.6.	51
3.3.6	Estabilidad y Flujo	55
4.	ANALISIS DE RESULTADOS	56

5. RECOMENDACIONES	57
6. CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama de Heukelom	25
---------------------------------------	----

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 1.1 Ensayos de estabilidad Marshall.....	10
Grafica 1.2 Modificación de la viscosidad agregando asfaltita.....	11
Grafica 1.3 Aumento Estabilidad Marshall.....	12
Grafica 1.4 Aumento en la Cohesión HVEEM.....	12
Grafica 3.1 Comportamiento de la asfaltita con respecto a la penetración.....	39
Grafica 3.2 Variación de la Ductilidad.....	40
Grafica 3.3 Variación de la Viscosidad Dinámica.....	42
Grafica 3.4 Tendencia de la mezcla (asfalto/asfaltita).....	43
Grafica 3.5 Densidad vs % Asfalto.....	45
Grafica 3.6 % vacios en la mezcla.....	46
Grafica 3.7 % vacios en los agregados vs % asfalto.....	47
Grafica 3.8 % vacios llenados con asfalto vs % asfalto.....	47
Grafica 3.9 Diagrama promedio Esfuerzo vs Deformación.....	48
Grafica 3.10 Diagrama promedio Esfuerzo vs Deformación.....	49
Grafica 3.11 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 1, 2,3).....	51
Grafica 3.12 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 4, 5,6).....	51
Grafica 3.13 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 7,8,9).....	52
Grafica 3.14 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 10,11,12).....	52

Grafica 3.15 Evolución Deformación Promedio en función del tiempo (tipo A).....	52
Grafica 3.16 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 13,14,15).....	53
Grafica 3.17 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 16, 17,18).....	53
Grafica 3.18 Evolución Deformación Promedio en función del tiempo. (Tipo B).....	53
Grafica 3.19 Estabilidad vs % asfalto	54
Grafica 3.20 Flujo vs % asfalto.....	54

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1 Asfaltita semifluida.....	15
Fotografía 2.2. Yacimiento de Asfaltita en la región de la Tigra Sder.....	16
Fotografía 2.3. Muestra sometida a incremento de temperatura.....	17
Fotografía 2.4. Proceso de pulverización.....	17
Fotografía 2.5. Esquema ensayo de Penetración.....	18
Fotografía 2.6. Esquema ensayo de Ductilidad.....	19
Fotografía 2.7. Esquema ensayo de Punto de Ablandamiento.....	20
Fotografía 2.8. Esquema de solubilidad.....	21
Fotografía 2.9. Esquema ensayo de Punto de Llama.....	22
Fotografía 2.10. Esquema ensayo de TFOT (Película Delgada).....	23
Fotografía 2.11. Esquema ensayo de Viscosidad Dinámica.....	24
Fotografía 2.12. Proceso de compactación.....	30
Fotografía 2.13. Especímenes parafinados.....	31
Fotografía 2.14 Esquema ensayo de Vacíos.....	32
Fotografía 2.15 Esquema ensayo de Modulo Elástico.....	34
Fotografía 2.16 Esquema ensayo de CREEP a 60°C.....	35
Fotografía 2.17 Ensayo de Estabilidad y Flujo.....	36

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Composición del asfalto (Asfáltenos).....	2
Tabla 1.2	Composición del asfalto (Máltenos).....	3
Tabla. 1.3	Características típicas de las asfaltitas.....	5
Tabla 1.4	Caracterización física del asfalto solidó de la Tigra.....	6
Tabla 1.5	Valores del asfalto 60/70.....	7
Tabla 1.6	Norma estándar de bitumen en Francia NF en 12591.....	7
Tabal 1.7	Ensayos estándares de las asfaltitas.....	11
Tabla 2.1	Ensayos realizados al Asfalto 60/70.....	14
Tabla 2.2.	Modulo de riqueza para mezclas GB et EME.....	27
Tabla 2.3.	Curva Granulometría para mezclas EME, tamaño de 14-20 mm.....	27
Tabla 2.4.	Dosificación probetas Marshall. Mezclas densas tipo A (visée).....	28
Tabla 2.5.	Dosificación para las probetas Marshall Mezclas densas tipo B (maxi).....	28
Tabla 2.6.	Porcentajes de asfalto.....	28
Tabla 3.1.	Características de los agregados.....	37
Tabla 3.2.	% asfalto (asfalto /asfaltita) según el tipo de granulometría.....	38
Tabla 3.3.	Geometría probetas.....	38
Tabla 3.4.	Porcentajes de Asfaltita ensayados.....	39
Tabla 3.5.	Variación de la Ductilidad.....	40

Tabla 3.6. Punto de Ablandamiento.....	41
Tabla 3.7. Datos de Penetración para la determinación del contenido de parafinas.....	42
Tabla 3.8. Datos de Viscosidad para la determinación del contenido de parafinas.....	43
Tabla 3.9. Ensayos realizados a la mezcla 80 % Asfalto y 20 % Asfaltita.....	44
Tabla 3.10. Valores Promedio de la Densidad.....	45
Tabla 3.11. Gravedad máxima media	46
Tabla 3.12. Porcentaje de vacios en la mezcla.....	46
Tabla 3.13. Porcentaje de vacios en los agregados.....	47
Tabla 3.14. Valores de Deformación promedio.....	48
Tabla 3.15. Valores del modulo de Elasticidad.....	49
Tabla 3.16. Valores de Deformación promedio.....	49
Tabla 3.17. Valores del modulo de Elasticidad.....	49
Tabla 3.18. Valores promedios de deformaciones a una carga constante (10.125 lb).....	50
Tabla 3.19. Valores obtenido de estabilidad y flujo.....	54

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	59
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS.....	68

RESUMEN

TITULO

MEZCLAS DE ASFALTOS NATURALES CON ASFALTOS DE REFINERÍA PARA PRODUCIR ASFALTOS DUROS EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON UN MODULO ALTO

AUTORES

MENDEZ MORALES, Adriana
NÚÑEZ PARRA, Yudith Maritza

PALABRAS CLAVES

Asfaltos de refinería, Asfaltitas, Mezclas de modulo alto.

DESCRIPCIÓN

Este proyecto busca encontrar un porcentaje adecuado de asfalto natural (asfaltita) para combinar asfalto de refinería 60/70 y producir asfaltos duros (asfalto 20/30).

Inicialmente se encuentra el porcentaje de asfalto natural (asfaltita) con base en el ensayo de penetración, después de encontrado este porcentaje se procede a realizar los ensayos de ductilidad, punto de ablandamiento, solubilidad, punto de llama, envejecimiento (Tfot), viscosidad, y presencia de parafinas, para verificar si la mezcla (asfalto/asfaltita) cumple con las especificaciones del asfalto 20/30.

Después de cumplir con los parámetros requeridos para obtener un asfalto duro se calcula empíricamente el porcentaje óptimo de asfalto (asfalto/asfaltita) y se elaboran las probetas Marshall con la granulometría de una mezcla de modulo alto (EME).

Se realizaron probetas con diferentes porcentajes de asfalto, para cada porcentaje de asfalto se elaboraron tres (3) probetas a las cuales se les realizó ensayos de laboratorio, gravedad especifica BULK densidad y volumetría, Modulo elástico, Creep sin confinar, Estabilidad de flujo y Vacios.

Con las pruebas de laboratorio realizadas se verificó, que la muestra diseñada se comporta como era de esperarse presentando un modulo elástico elevado con valores de estabilidad y flujo entre los rangos superiores a 250 (lb) y 4 mm de una mezcla.

* Tesis de Grado

* *Facultad de ingenierías físico mecánicas. Ingeniería Civil. ING. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON.

ABSTRACT

TITLE

MIXTURES OF NATURAL ASPHALTS ASPHALTS WITH REFINERY TO PRODUCE ASPHALTS HARD IN THE DEVELOPMENT OF MODULE MIXES WITH A HIGH

AUTHORS

MENDEZ MORALES, ADRIANA
NÚÑEZ PARRA, Yudith Maritza

KEYWORDS

Asphalt Refinery, asphaltites, blends module high.

DESCRIPTION

This project seeks to find an appropriate percentage of natural asphalt (asphaltites) to combine asphalt refinery 60/70 and hard to produce asphalt (asphalt 20-30). Initially is the percentage of natural asphalt (asphaltites) based on the penetration test, then found the percentage of proceeds to carry out the tests of ductility, softening point, solubility, flame point, aging (T_{fot}), viscosity, and the presence of paraffin, to verify whether the mix (asphalt / asphaltites) meets the specifications of the asphalt 20/30. After meeting the parameters required to obtain a hard asphalt is empirically estimated the percentage of optimum asphalt (asphalt / asphaltites) and Marshall are developed the test with the fineness of a mixture of high modulus (EME).

Test was conducted with different percentages of asphalt, for each share of bitumen were produced three (3) to test which were carried out laboratory tests, specific gravity and density BULK volumetry, elastic module, without confining Creep, Stability and Flow Gaps.

With the laboratory tests conducted verified that the designed sample behaves as expected by presenting a high elastic modulus values of stability and flow between the ranges greater than 250 (lb) and 4 mm in a mixture.

- * Degree Thesis
- * *Physical-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. ING. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

INTRODUCCION

Por la alta explotación que se está presentando en las reservas petrolíferas se puede considerar que más adelante abra una disminución de estas en Colombia. Esto generara la búsqueda de nuevas alternativas de mezclas y mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor comportamiento de los pavimentos.

Este proyecto tienen como punto de partida los diferentes tipos de asfaltos que se encontraban presentes en la antigüedad y los que se están utilizando hoy en día, también se parte de información de estudios realizados sobre agregados y se empieza la búsqueda de una mezcla entre los asfaltos naturales (asfaltitas) y los asfaltos de refinería para la producción de un ligante bituminoso de baja penetración, y elaboración de una mezcla asfáltica con módulo alto.

En el primer capítulo se hace una descripción de la materia prima a utilizar, sus características, y algunos estudios realizados.

En el segundo capítulos se describen los ensayos, desde la caracterización de los materiales y el diseño de las probetas. Inicialmente se busca encontrar un porcentaje adecuado de asfalto natural (asfaltita) mediante la combinación de este con asfalto de refinería 60/70 para producir asfaltos duros (asfalto 20/30).

El tercer capítulo se encuentra los resultados de los ensayos que se realizaron. En el cuarto capítulo se hace el análisis de los resultados y una comparación de las mezcla MAM con una mezcla tradicional. En el quinto capítulo se hacen algunas recomendaciones y en el capítulo final se presentan las conclusiones del proyecto.

1. MARCO TEORICO

1.1 Características de los materiales

1.1.1 El asfalto

Los asfaltos son materiales aglomerantes semejantes a un tipo de betún de color oscuro, formados por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular. Pueden tener dos orígenes; los refinados de petróleos crudos y los naturales.

1.1.2 Composición del asfalto

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa.

El modelo micelar es aquel con que se configura la estructura del asfalto, en este modelo existen dos fases: una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada máltenos. Los asfáltenos son los encargados de las características estructurales y de dureza, estos se encuentran en proporciones en un cemento asfáltico entre un 15 a un 20%. Los máltenos regulan las propiedades químicas de los asfaltos ya que se encuentran en mayor proporción y son fracciones solubles en hidrocarburos saturados, también son líquidos viscosos compuesto por resinas y aceites.

Tabla 1.1 Composición del asfalto (Asfáltenos)

Asfáltenos
Compuestos Polares
Hidrocarburos Aromáticos
Peso molecular mayor 1.000
Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición (pentano-heptano)

Tabla 1. 2 Composición del asfalto (Máltenos)

Máltenos
No polares
Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos
Peso molecular hasta 1.000
Medio continuo

Físicamente el asfalto es un material termoplástico en ambientes fríos se comporta como un sólido elástico, en temperaturas intermedias (ambiente normal 0°C a 70°C) su condición es visco elástica y a medida que la temperatura aumenta este empieza a comportarse como un material de flujo plástico muy viscoso, sobre temperaturas de 110°C-120°C se convierte en un liquido.

1.1.3 Asfaltos naturales

Los asfaltos naturales son depósitos de rocas areniscas o calizas llenas con asfalto.

1.1.3.1 Yacimiento de asphaltita

En la zona del Playón (Santander) se encuentran depósitos de asfalto natural en la región La Tigra, que cubre un área de aproximadamente 25 kilómetros cuadrados en los que se encuentran dos tipos de asfaltos el Asfalto semifluido y el Asfalto solido, estos asfaltos también se pueden clasificar según su contenido de bitumen en:

- Asfaltos de alto contenido de bitumen
- Asfaltos de medio contenido de bitumen
- Asfaltos de bajo contenido de bitumen

Pero en este proyecto solo se trabajara con Asfaltos de alto contenido de bitumen y con asfaltos sólidos.

1.1.3.2 Asfaltos de alto contenido de bitumen (asfaltitas duras)

Los de alto contenido de bitumen se denominan así porque conforman en un más de un 80%. Dentro de este grupo encontramos las asphaltitas, estas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y fractura conoidal,

dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. Químicamente están constituidas por hidrocarburos muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, siendo compuestos de alto peso molecular. También contienen un bajo contenido de materia inorgánica insoluble, poseen además un contenido apreciablemente alto de asfáltenos, su punto de ablandamiento es muy alto. Las asphaltitas se presentan en algunos sectores del departamento de Santander, en cercanías del municipio del playón, más precisamente en la región denominada la tigrá en donde se encuentran los tres tipos de asphaltitas que son¹

- Grahamita
- Glance picth
- Gilsonita

1.1.3.3 Caracterización física de las asphaltitas

La caracterización física de la asphaltitas se determinada a partir de las pruebas de laboratorio como son:

- Solubilidad CS
- Contenido de agua
- Gravedad especifica
- Materia insoluble
- Ductilidad
- Punto de ablandamiento
- Penetración
- Punto de chispa
- Raya
- Comportamiento a la llama

Las características de la asphaltita se presentan en la tabla 1.3

¹.Henry Chaparro Rojas, Fabio Gómez Sanabria. UTILIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFALTO –ASFALTITA EN PAVIMENTOS PARA VÍAS Trabajo de grado Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1980

Tabla. 1.3 Características típicas de las asfaltitas

Propiedades	Norma A.S.T.M	Unidades	Gilsonita	Grahamita	Glance Pict
Bitumen soluble en CS	D-4	%masa	98+	40-100	99.3
Material mineral insoluble	D-4	%masa	1	5	0.5
Punto de ablandamiento	D-36	°C	121-260	187-329	110-121
Gravedad específica 25/25 °C	D-70		1.03-1.08	1.15-1.5	1.084
Ductilidad	D-113	cm	0.0		1.0
Penetración	D-5	mm/10			0.0
% de agua	D-93	%	2.0	0.0	0.0
Dureza (escala Mohs)		%			
Color en masa			Negro	negro	negro
Lustre			Opaco a brillante	Brillante a opaco	Lustroso
Raya			Parda	Negra	Parda oscura
Comportamiento en la llama			No decrepita	Decrepita	
Fractura			Concoidal columnar	Concoidal fibrosa	Concoidal
Carbón fijo		%	10 - 20	35 - 55	20 - 30
Punto de fusión (anillo y bola)		°C	132 – 204	188 - 329	132- 190

Como se dijo anteriormente en el departamento de Santander se encuentra una asfaltita similar a la Gilsonita: Que es uno de los bitúmenes naturales más puros, se distingue fácilmente de las demás asfaltitas por su peso específico bajo, su contenido fijo de carbono, por su color pardo, y poco azufre, otras propiedades como, color en la raya, el lustre, la fractura y comportamiento en la llama.

Se emplea mucho en la fabricación de barnices negros mezclándola con aceites secantes y resinas, residuos de petróleo y otros asfaltos, con los cuales es mezclable en todas sus proporciones. También se emplea en revestimientos para frenos, losetas asfálticas, compuestos saturantes para alambres aislados, bandas de transmisión, tejidos impregnados, pinturas para maderas y revestimientos de oleoductos. Por su alta resistencia dieléctrica, se usa en compuestos eléctricos, y su color hace que se utilice en tintas de imprenta (rotograbado).

A diferencia de casi todos los demás asfaltos naturales o de petróleos, la gilsonita se mezcla en casi todas las proporciones con ceras para formar compuestos estables. Cuando se emplea en proporciones pequeñas en las mezclas de cera-asfaltos, actúa como portador e impide la separación de la cera y el asfalto. Cuando se añade a un asfalto oxidado, de temperatura de ablandamiento alta, la gilsonita reduce la penetración y el punto de ablandamiento; pero cuando se añade a un asfalto oxidado de temperatura de ablandamiento baja, reduce la penetración y eleva el punto de ablandamiento².

Tabla 1.4 Caracterización física del asfalto solidó de la Tigra

Características	Norma A.S.T.M.	Asfaltita (Gilsonita)	unidades
Solubilidad CS	D-4	%masa	99.8
Contenido de agua	D-95	%	0.0
Gravedad especifica 25/25 °C	D-70		1.054
Materia insoluble	D-4	%	0.2
Ductilidad 25 °C	D-113	Cm	0.0
Punto de ablandamiento	D-36	°C	165-175
Penetración (100g,5s,25°C)	D-5	mm/10	0.0
Punto de chispa	D-29	°C	322.5
Raya			Parda
Comportamiento a la llama			No decrepita
Fractura			Columnar, fibrosa, concoidal
Color en masa			negro

Otras propiedades como el lustre: brillante a regularmente brillante, el punto de fusión 132-204 °C, contenido de carbón fijo 10-20%, su facilidad de mezclado con las diferentes breas de ácido – graso permite diferenciarla de la Grahamita pero esta misma facilidad la posee también el Glance Pitch

En estudios ya realizados se comprobó que tiene buenos resultados en la utilización de pavimentos.

1.4 Asfaltos de refinería

² Henry Chaparro Rojas, Fabio Gómez Sanabria. UTILIZACIÓN DE UNA MEZCLA ASFALTO –ASFALTITA EN PAVIMENTOS PARA VÍAS Trabajo de grado Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 1980

El asfalto que se emplea en la realización de este proyecto es un asfalto de refinería de grado 60/70, el cual permitirá hacerle algunas modificaciones en su composición para acercarse a lo que es un asfalto 20/30 empleado en Europa.

Tabla 1.5 Valores del asfalto 60/70

Asfalto 60/70	resultados
Gravedad específica a 25 °C	0.996
Penetración a 25 °C , 100 grs ,5 seg	64
Ductilidad a 25 °C	>110
Punto de ablandamiento °C	50

Tabla 1.6 Norma estándar de bitumen en Francia NF en 12591

Características	Método	70/100	50/70	35/50	20/30
Penetración a 25°C, 100 grs,5 s (1/100mm)	NF en 1426	70 - 100	50 - 70	35-50	20-30
Punto de ablandamiento (°C)	NF en 1427	43 - 51	46-54	50-58	55-63
RTFOT 163 C, 75 mn:					
<input type="checkbox"/> Pérdida de masa, (%)	NF en 12607-1	≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5
<input type="checkbox"/> incremento del punto de ablandamiento°C		≤ 9	≤ 9	≤ 8	≤ 8
<input type="checkbox"/> punto de ablandamiento después (°C)		≥45	≥48	≥52	≥57
<input type="checkbox"/> Penetración residual, (%)		≥ 46	≥ 45	≥ 53	≥ 55
Punto de llama ,copa Cleveland (°C)	NF en 22592	≥ 230	≥ 230	≥ 250	≥ 250
Ductilidad a 25 °C (cm)	NF en 66006	≥ 100	≥ 80	≥ 60	≥ 25
Solubilidad en tricloroetileno C ₂ C ₁₄ (%)	NF en 12592	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99
Contenido de parafina	NF en 12606-2	≤ 4.5	≤ 4.5	≤ 4.5	≤ 4.5

Fuente: Norma Francesa para asfaltos

1.5 Mezclas en caliente

La mezcla en caliente consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados y aglutinados con un cemento asfáltico. Estos dos componentes deben ser calentados previamente para fluidificarlo y secarlos logrando así que la mezcla a realizar tenga buena manejabilidad por esto el nombre de “mezcla en caliente”

Los agregados y el asfalto son mezclados por una planta mezcladora que calienta, dosifica y mezcla los constituyentes para producir la mezcla deseada.

1.5.2 Mezclas de alto módulo – MAM

El inicio de las mezclas de modulo alto provienen del desarrollo de las mezclas francesas actuales viene de los años 1965-1988, con muchas novedades nacidas en la década de los 1978-88. Sin embargo, las formulas actuales siguen evolucionando poco a poco con el empleo creciente de cada tecnología y la experiencia.

Aparición de las primeras mezclas de Modulo Alto:

- Las primeras mezclas bituminosas de modulo elevado para capa de rodadura (Béton Bitumineux de Module Elevé - BBME) aparecieron en el año 1978,
- Las mezclas finas (Béton Bitumineux Mince - BBM) en el 1979,
- Las mezclas de alto modulo para capas de base de tipo 1 en el 1980 (Enrobés à Module Elevé - EME),
- Las mezclas de alto modulo para capas de base (EME) de tipo 2 también en el 1988.

En los años 1980, se han desarrollado mezclas de alto modulo (Enrobé à Module Elevé EME). Inicialmente, la idea era de reforzar carreteras urbanas sin aumentar el espesor.

Pero con la crisis del petróleo, ha sido rápidamente interesante utilizar mezclas de alto modulo en la construcción de firmes nuevos, lo que hace que al día de hoy, los proyectos de construcción de nuevas carreteras con tráfico pesado casi siempre se hacen con este tipo de mezcla.

Las mezclas asfálticas de alto módulo son aquellas que presentan una rigidez significativamente superior del orden de dos o tres veces más que las mezclas Fabricadas con ligantes asfálticos convencionales.

En cuanto al agregado, debe proceder de la trituración de roca o de grava o de una combinación de ambas, sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

Se trata de una mezcla con granulometría semi-gruesa. Existen tres tipos de EME según el tamaño máximo del árido: EME 0/10, 0/14 o 0/20. Se emplean betunes duros (es decir con penetrabilidad inferior a 25 1/10 mm, típicamente un 10/20) y con contenido de ligante elevado.

El concepto de mezclas de gran capacidad de soporte se introdujo en la técnica de carreteras en el decenio de 1970, desarrollándose a partir de mezclas con ligantes especiales. Francia en 1980, enfocó la idea hacia el uso de betunes puros. La consiguiente reducción de precios del producto y los éxitos de las primeras aplicaciones, extendieron la técnica, que empezó a emplearse con cierta generalidad en 1985.

Su empleo ha sido normalizado en Francia en la NFP 98 140 de octubre de 1992, en la que, por primera vez, aparecen las mezclas bituminosas especificadas exclusivamente por sus propiedades fundamentales módulo dinámico, resistencia a la fatiga, resistencia a la acción del agua, resistencia a las deformaciones plásticas, eliminando los ensayos empíricos.

Las mezclas de alto módulo constituyen una alternativa de gran interés técnico y económico frente a los materiales tradicionales. Sus principales ventajas son:

- Gran capacidad de absorción de cargas.
- Resistencia a la fatiga, análoga a la de las mezclas semidensas.
- Reducción de los espesores hasta en un 20% frente a las mezclas convencionales.

1.6 Estudios realizados³

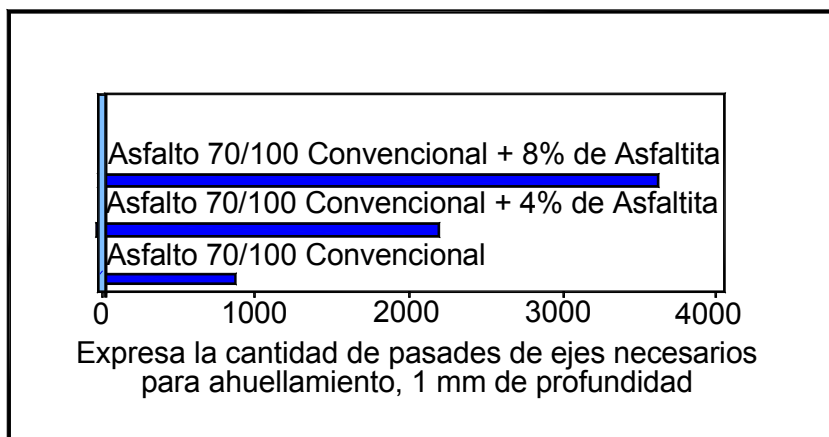
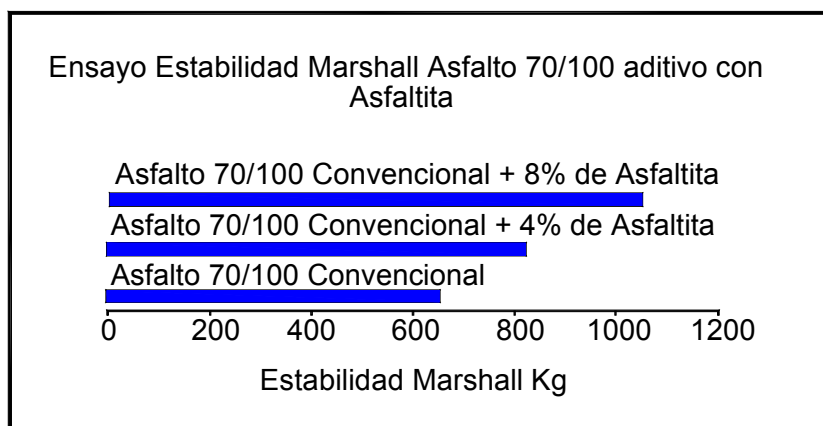
En los diferentes estudios realizados tanto en Argentina como en Inglaterra dan una respuesta o resultado próximo a lo que en este proyecto se busca, debido a ellos nos han estipulado los aspectos que se mejoran en el funcionamiento de una mezcla bituminosa con la adición de asfaltita en determinadas cantidades y estos son mejor a mayor cantidad de asfaltita adicionada, Entre estos beneficios o aspectos mejorados están, una mayor

³ <http://www.e-asphalt.com/asfaltitas/asfaltitas.htm>

estabilidad Marshall, y otras características como el punto de ablandamiento, ductilidad, se observo que el pavimento es más estable y resistente, Menores ahuellamiento y desprendimientos, Menor susceptibilidad térmica, mejorando así el desempeño en un rango amplio de condiciones climáticas, Mejor adherencia asfalto-agregado y mayor resistencia a la acción deteriorante del agua, aumento de la viscosidad.

A continuación observamos unas graficas que corrobora lo que se menciona anterior mente con respecto a la estabilidad y el número de pasadas de ejes en el pavimento

Grafica 1.1 Ensayos de estabilidad Marshall

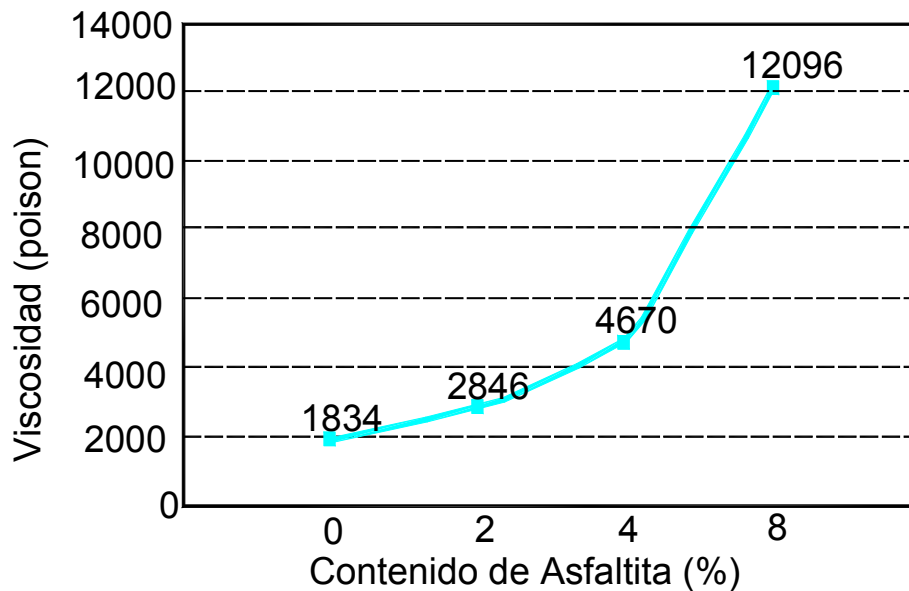


Tabal 1.7 Ensayos estándares de las asfaltitas

Ensayos Estándares (Asfaltita Tamiz 100)	Cemento Asfáltico 70/100	Cemento Asfáltico 70/100 + 4% Asfaltita	Cemento Asfáltico 70/100 + 8% Asfaltita
Penetración a 25 C (100g 5seg) 1/100 mm	80	42	30
Punto de A ablandamiento C	48	56	61
Índice de Penetración	-0,65	-0,3	-0,2
Ductilidad a 25 C (5 cm/ min) cm	150	150	150
Viscosidad Dinámica a 60 C (poises)	1790	5110	10950
Solubilidad en Sulfuro de Carbono (%)	99,8	99,8	99,8
Ensayo de Oliensis	Negativo	Negativo	Negativo

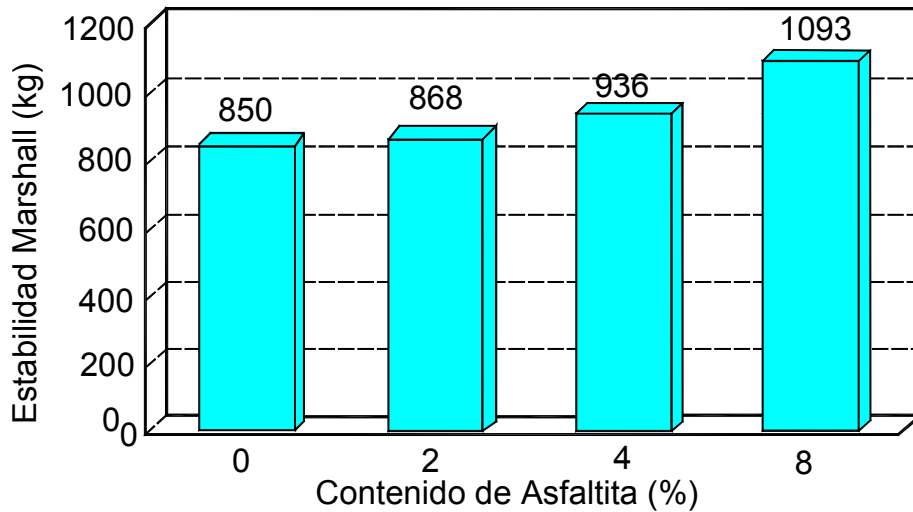
Según estudios realizados en Inglaterra también ratifican las características mencionada anteriormente como se observa a continuación.

GRAFICA 1.2 Modificación de la viscosidad agregando Asfaltita



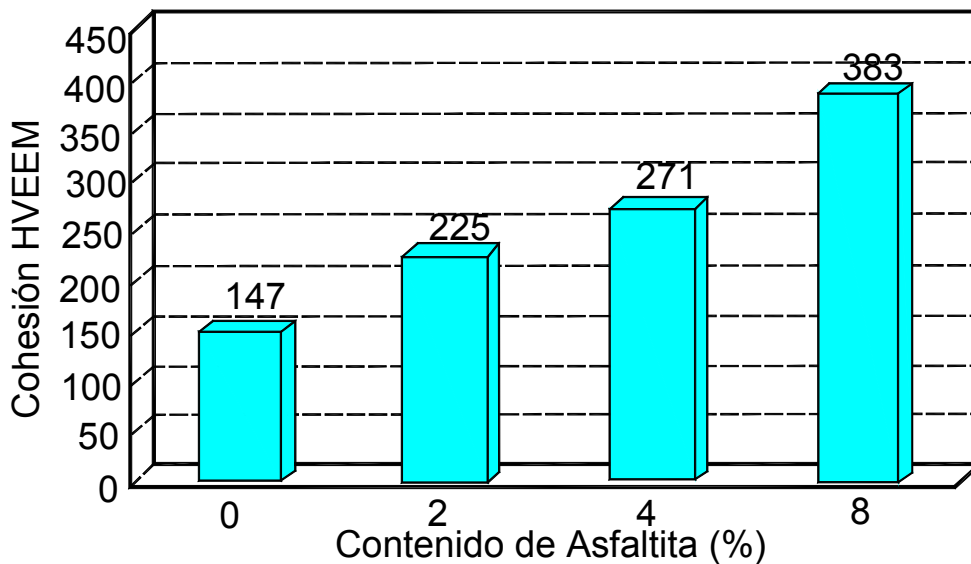
Pequeñas cantidades de ASFALTITA, modifican drásticamente la viscosidad del cemento asfáltico.

GRAFICA 1.3 Aumento Estabilidad Marshall



Mayor resistencia interna en las probetas modificadas con ASFALTITA

Grafica 1.4 Aumento en la Cohesión HVEEM



Aumento de la adherencia asfalto – agregado ensayo NICHOLSON MODIFICADO (Medido como porcentaje de superficie descubierta por la acción deteriorante del agua)

2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

2.1. DESCRIPCIÓN

El desarrollo de esta investigación se llevo a cabo por diversas etapas, estas son:

- ✓ Recopilación y análisis del a información existente
- ✓ Adquisición, selección y caracterización del asfalto natural a emplear para la elaboración de la mezcla.
- ✓ Diseño del ligante.
- ✓ Diseño de la mezcla asfáltica
- ✓ Fabricación de probetas
- ✓ Ensayos de laboratorio
- ✓ Análisis de resultados

2.2. Materiales empleados

2.2.1. Agregado Mineral

2.2.1.1 Procedencia:

La totalidad del material pétreo empleado proviene de la cantera ubicada junto al rio chicamocha, en el sector conocido como pescadero en el departamento de Santander.

2.2.1.2 Tamaño Máximo Nominal

Este corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente anterior al que retiene un mínimo del 10 % del peso total de la muestra a tamizar y que en mezclas de modulo alto (EME) y gradación densa es 3/8".

2.2.1.3 Ensayos Realizados

A los agregados no se les realizó ninguna de las pruebas ya que existen estudios de estos materiales, efectuados en la universidad industrial de Santander para la

elaboración de la tesis análisis comparativo de propiedades de deformación en mezclas MDC-2, MDC-3, M 1 y Stone matrix Asphalt” en el anexo A esta la caracterización de los agregados.

Los ensayos realizados a los agregados fueron⁴:

- Granulometría (INV E- 213)
- Petrología mineral
- Desgaste en la máquina de los Ángeles (INV E- 219)
- Sanidad frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio (INV E- 220)
- Equivalente de arena (INV E- 133)
- Índice de alargamiento y aplanamiento (INV E- 230)
- Porcentaje de caras fracturadas (INV E- 217)
- Peso específico del agregado grueso , fino y filera mineral (INV E- 232-233)
- Porcentaje de absorción del agregado grueso, fino y filera mineral (INV E- 232-233)

2.2.2 Asfalto.

2.2.2.1 Asfalto de Refinería

El asfalto empleado en este proyecto fue asfalto 60-70, de CORASFALTOS.

Al asfalto se le realizó pruebas para mirar las propiedades que posee realmente el asfalto que emplearemos para la mezcla con asfaltita y tener datos de entrada que serán de aquí en adelante la base de comparación con el asfalto 20/30 empleado en Francia.

Tabla 2.1 Ensayos realizados al Asfalto 60/70

Propiedad	Valor Obtenido
Penetración a 25 °C , 100 grs ,5 seg	66
Ductilidad 25 °C (cm)	102
Punto de ablandamiento	50

2.2.2.2 Asfalto natural (Asfaltita)

⁴Emilio Arenas Romero, Andrés Julián Serrano Corzo. ANALISIS COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS MDC-2, MDC-3, M1 Y STONE MATRIX ASPHALT. Trabajo de grado Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2006.

A través de las coordenadas x: 1'321.000- 1'327.000 y 1'072.000 -1'077.000* se efectuó la salida para la recolección de la muestra, que se encuentra en cercanías del playón en una región denominada la tигра.

La extracción de esta no se realizó exactamente en las coordenadas de referencia, porque el afloramiento de la brea (yacimiento de hidrocarburo) como los habitantes de la región le llaman, se hace notoria en toda esta zona , con una distancia de 11 km de separación del punto de referencia y el lugar en el que nos ubicamos , en la tигра se puede ver el afloramiento del bitumen liquido en pequeños pronunciamientos de tierra, el cual fluye hacia los extremos buscando circular como corrientes de agua, que con el pasar del tiempo sufre cambios de solidificación dando así el origen a lo que se conoce como asfaltitas (material solido fotografía 2.2), el afloramiento de hidrocarburo se puede apreciar en la fotografía2.1.

Fotografía 2.1 Yacimiento de hidrocarburos



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

Según la información que nos suministraron personas de la región, nos mostraron un afloramiento de un tamaño apreciable del cual tomamos nuestra muestra.

La identificación en su momento era un poco difícil debido a que en este sector ya se habían realizado otros estudios con procesos de combustión para solidificar el pozo del cual afloraba asfalto semifluido y que por su dimensión se convirtió en un peligro para los

animales que se encuentran en su alrededor, se hizo un descapote de las capas superiores de este afloramiento para evitar recoger muestra alterada.

Fotografía 2.2. Yacimiento de Asfaltita en la región de la Tigra Sder.



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

Para identificar la muestra como tal se realizaron las pruebas de observación las cuales permiten identificar la muestra a extraer, tales como lo es el lustre, el color, la fractura, y gravedad específica.

La gravedad específica es una de las propiedades más evidentes puesto que es una roca muy liviana. Este ensayo se desarrollo introduciendo la muestra intacta (tal cual fue extraída) en un crisol y llevándola al horno a temperatura inicial de 130° c después de transcurrido un tiempo la muestra comienza a ablandarse a una a una temperatura entre 144 – 148 °C como se pudo observar.

Fotografía 2.3. Muestra sometida a incremento de temperatura.



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3 Pruebas realizadas a la combinación de asfalto y asfaltita

Para la realización de las pruebas se pulverizo la asfaltita, empleando la máquina de los ángeles y la de bola para obtener un tamaño de 150 mm de tal forma que pase por el tamiz 100, debido a que es más rápida y fácil su fluidez proporcionando una mejor homogenización y así evitar temperaturas elevadas que puedan alterar las propiedades originales.

Fotografía 2.4. Proceso de pulverización



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

La elección del porcentaje óptimo de asfaltita que debía adicionársele al asfalto para lograr características semejantes a la del asfalto 20/30, partimos de realizar los ensayos de penetración, ductilidad y Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola) entre otros , en un sistema de prueba y error, evaluando así los diferentes resultados en un rango considerable de porcentajes; este rango vario desde un 50 /50 hasta un 10/80 de asfaltita /asfalto , no tomamos un rango mayor al 50/50 ya que sabemos que la asfaltita es un material muy duro entonces a una mayor concentración de asfaltita la penetración de la mezcla disminuirá considerablemente y además la mezcla se hace más rígida pero a su vez mas frágil o quebradiza.

Los ensayos mencionados son los más comunes y elementales que se realizan en los laboratorios, estos ensayos están estandarizados por las normas del instituto nacional de vías.

2.2.2.3.1 Ensayo de penetración (INV E-706-07)

Fotografía 2.5. Esquema ensayo de Penetración



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.2 Ductilidad (INV E-702-07.)

Fotografía 2.6. Esquema ensayo de Ductilidad



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

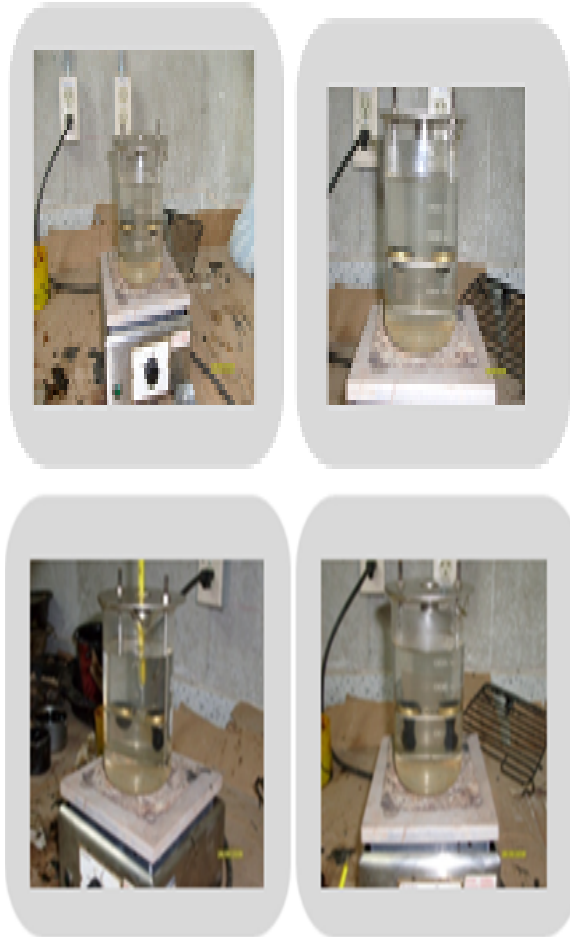
2.2.2.3.3 Punto de Ablandamiento Norma INV E-712-07.

Tomando el 20 % de asfaltita se obtuvieron valores cercanos a las características del asfalto 20/30, con base en este porcentaje se realizaron las pruebas de caracterización del comportamiento de esta mezcla.

Las pruebas son:

- Solubilidad en tricloroetileno C_2C_{14}
- Punto de llama
- TFOT 163 °C :
 - Pérdida de masa
 - Incremento punto ablandamiento
 - Penetración después de TFOT
- Viscosidad dinámica
- Contenido de parafinas

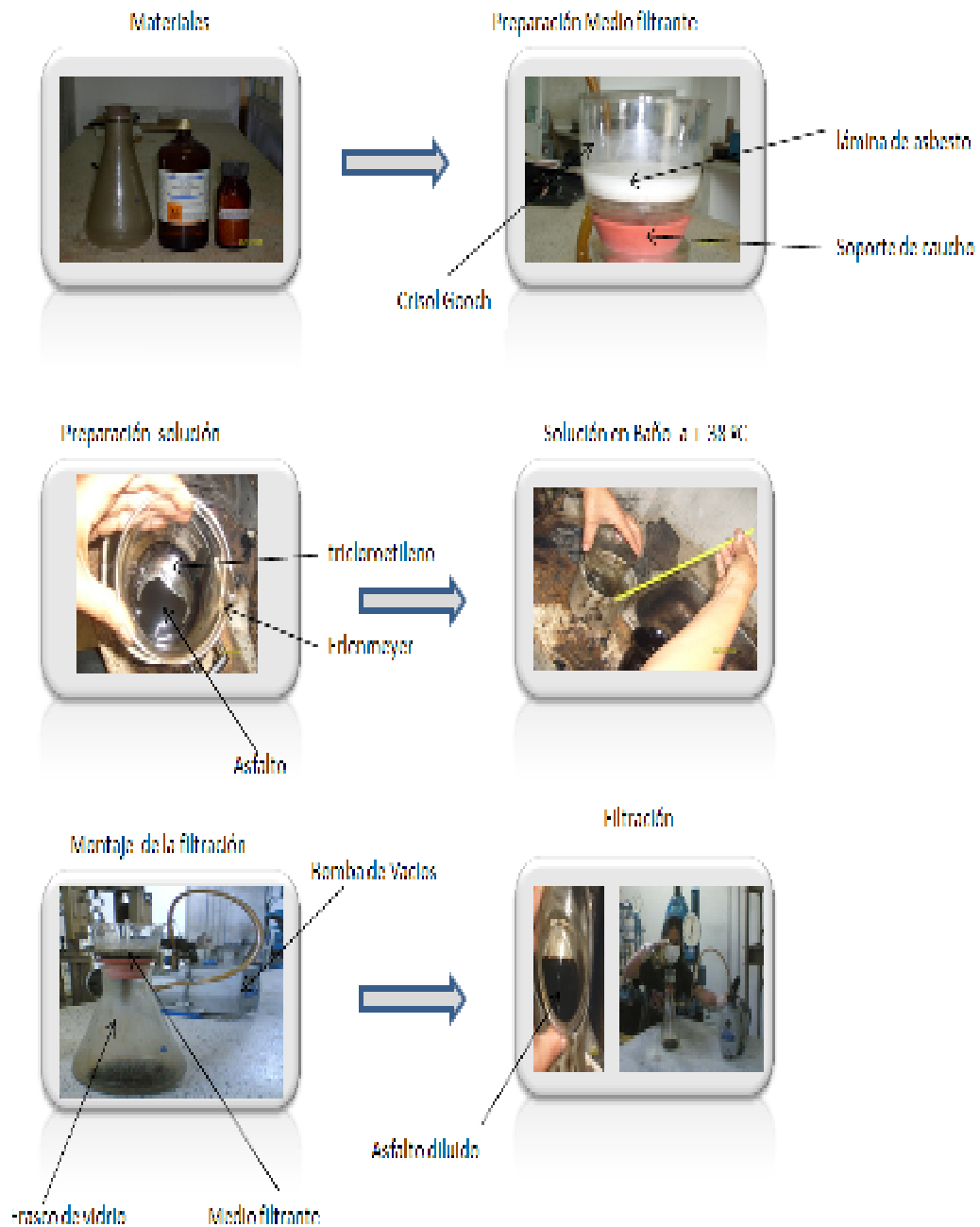
Fotografía 2.7. Esquema ensayo de Punto de Ablandamiento



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.4 Solubilidad en Tricloroetileno I.V.E – 713 (ASTM D-2042)

Fotografía 2.8. Esquema de solubilidad



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.5 Punto de Llama Mediante la Copa Abierta Cleveland I.N.V. E – 709

Fotografía 2.9. Esquema ensayo de Punto de Llama.



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.6 Ensayo de película delgada (TFOT) Norma INV E-721-07

Fotografía 2.10. Esquema ensayo de TFOT (Película Delgada).



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.7 Viscosidad Dinámica con viscosímetro Brookfield N. CMT.4.05.002

Este ensayo busca determinar la consistencia de los asfaltos, en un rango de 38 a 260 °C, mediante la determinación de la resistencia que ofrece una muestra a la deformación (resistencia del material a fluir). La prueba consiste en determinar la resistencia que ofrece el asfalto cuando es sometido a una fuerza interna que lo induce al movimiento bajo condiciones controladas.⁵

Para efecto de nuestro ensayo partimos de calibrar el viscosímetro y colocar la muestra en el viscosímetro a una temperatura inicial de 60 °C y espera entre 10 – 15 minutos mientras se estabiliza y homogeniza la mezcla con las revoluciones que la aguja esta rotando , debido a que el asfalto es muy denso y las paredes externas de crisol metálico no se encuentran a la misma temperatura; luego digitalmente el viscosímetro comienza a consignar los resultados en una hoja datos como el numero de secuencia , revoluciones por minuto, la aguja utilizada , % de confiabilidad , la viscosidad en centipoises (cP), entre otros .

⁵ <http://www.amtex.com.mx/docs/AMTEX-Brookfield.pdf>

Como la mezcla que se está ensayando no es muy viscosa la aguja con la que se inicia la medición es una de las más grandes y esto incluye una alta velocidad (mas revoluciones) en la aguja y a medida que la mezcla se hace viscosa las revoluciones decrecen (es más lenta la agitación).

Se debe tener cuidado en el valor del torque porque este es el que nos indica en qué momento se debe cambiar la aguja para no perder precisión en los datos.

Fotografía 2.11. Esquema ensayo de Viscosidad Dinámica.



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.2.2.3.8 Contenido de Parafinas (EN 12606-1 et -2)

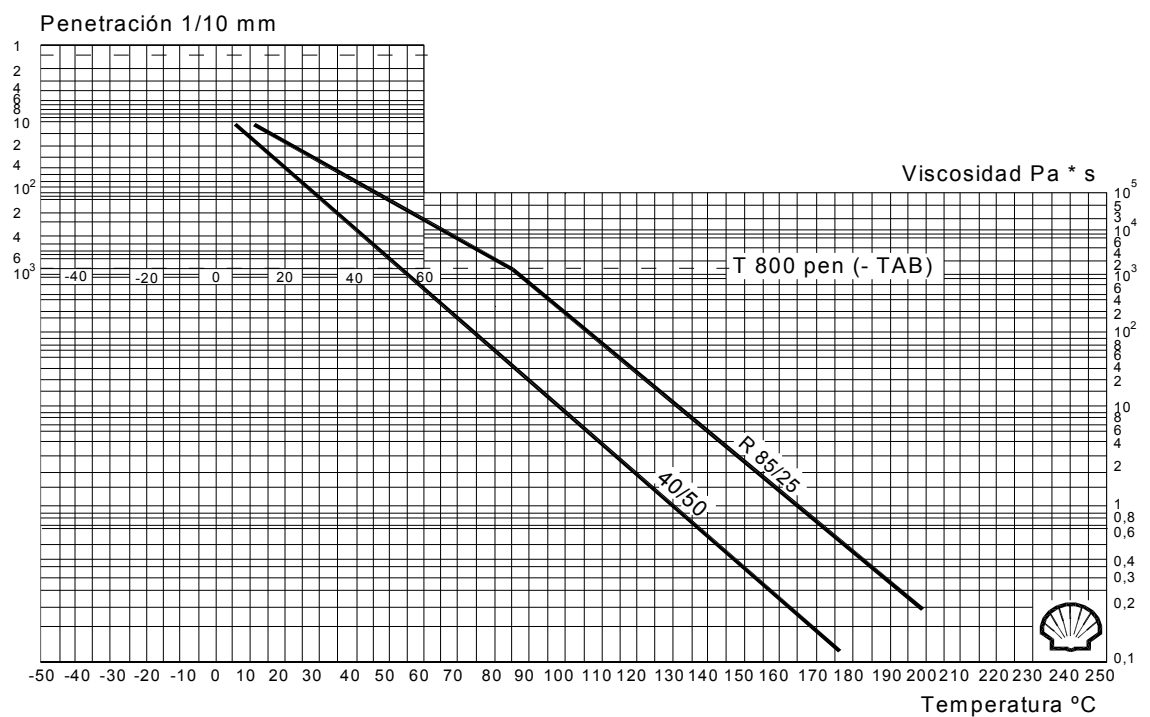
Con este ensayo se busca determinar el contenido de parafina presente en el asfalto, a mayor contenido de parafinas causa un incremento en su punto de ablandamiento causando esto un decremento en la viscosidad y la ductilidad del asfalto, los cambios pueden llevar a que se presenten problemas en el comportamiento de la vida útil del asfalto, debido al efecto de la temperatura ya que la parafina en climas fríos brindaría una mejor resistencia al pavimento pero en climas cálidos su comportamiento sería

desfavorable debido a que a medida que la temperatura aumenta esta se diluye y pierde resistencia y consistencia.

El montaje y los equipos requeridos para este ensayo no están implementados en la ninguno de los laboratorios de la universidad y la única parte donde se llevan a cabo es en ICP (Instituto colombiano petróleos).

Partiendo de la viscosidad dinámica y el **DIAGRAMA DE HEUKELOM***, el cual nos muestra unas tendencias del comportamiento de la presencia de parafina en el asfalto con respecto a la viscosidad dinámica y la penetración todo en función de la temperatura, se da una estimación del contenido de esta en la mezcla (asfalto –asfaltita).

Figura 2.1 Diagrama de Heukelom.⁶



2.2.2.3.9 Determinación Porcentaje Optimo de Asfalto (asfalto +asfaltita)

Existen dos formas de determinar el contenido de asfalto en una mezcla.

⁶ Shell bitumes, memento, pág. 20

Una corresponde a un rango de porcentajes de asfalto y la fabricación de estas probetas para luego realizarles las pruebas de densidad y estabilidad de flujo y graficando estos encontrar un valor promedio de este, que muestre los mejores comportamientos en las curvas de densidad, y estabilidad.

Otra forma es a través de ecuaciones empíricas (ecuación de Duriez) las cuales nos permite estimar un valor de este.

Ecuación de Duriez

Esta ecuación permite estimar un porcentaje optimo de asfalto respecto a la masa (peso) total de la mezcla, más específicamente con su gradación mediante la siguiente ecuación

$$\% \dots Asfalto = K * \alpha * \sqrt[5]{\sigma}$$

El valor de K corresponde al modulo d riqueza, una constante proporcional de la película de betún que recubre el agregado establecido por el tipo de mezcla sin importar su gradación.

σ Es la superficie específica del agregado calculada de la siguiente expresión

$$\sigma = \frac{1}{100} * \left[\left(\frac{G}{4} \right) + 2.2S + 12s + 150f \right]$$

Donde

G = % retenido tamiz 1/4"

S = % pasa tamiz 1/4" y retenido tamiz # 60

s = % pasa tamiz # 60 y retenido tamiz # 200

f = % pasa tamiz # 200

α Es su factor de corrección el cual está en función de la gravedad específica del agregado

$$100 * Sa = \frac{G}{4} + 2.2g + 12A + 150F$$

Donde

G= % pasa tamiz 1/4"

g = % pasa tamiz 1/4" -%retenido tamiz N°60

A=% pasa tamiz N°60 -%retenido tamiz N°200

F= % pasa tamiz N°200

Para escoger el valor del modulo de riqueza en la tabla 2.2 tenemos en cuenta el tipo de mezcla.

Tabla 2.2. Modulo de riqueza para mezclas EME

K Mínimo	GB2	GB3	GB4	EME	EME2
	2,5	2,8	2,9	2,5	3,4

Para la elaboración de las probetas emplearemos una granulometría de una mezcla densa (EME), en la que se emplearemos tamices que son los más cercanos a las dimensiones exigidas en la granulometría según se estipula en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Curva Granulometría para mezclas EME y tamaño máximo 0/20 a 0/14

pasante tamiz mm	D= 20 mm o 14 mm			Tamices utilizados
	mínimo	Medio	máxima	
6,3	45 (50 para 0/14)	53	65 (70 para 0/14)	¼"
4	40	47	60	# 5
2	25	33	38	#10
0,063	5,4	6,7	7,7	#200

2.3. Diseño y fabricación de probetas

Se realizo la elaboración de un solo tipo de mezcla EME, variando la cantidad de asfalto y la granulometría (media, máxima), fabricando de cada porcentaje varios especímenes.

En la tabla 2. Se puede apreciar los rangos granulométricos exigidos por la norma de Francia, la granulometría de la mezcla a emplear y los diferentes valores de asfalto de cada mezcla.

Tabla 2.4. Dosificación para las probetas Marshall.

Mezclas densas tipo A (Densa – % granulometría media)

% asfalto aplicado a la mezcla			5,60%	5,80%	6,00%	6,20%
tamiz	% pasa	% Retenido	peso material (g)	peso material (g)	peso material (g)	peso material (g)
1/4 "	53	47	532,42	531,29	530,16	529,03
# 5	47	6	67,97	67,82	67,68	67,54
# 10	33	14	158,59	158,26	157,92	157,58
# 200	6,7	26,3	297,93	297,30	296,66	296,03
fino		6,7	75,90	75,74	75,58	75,42
Asfalto			67,20	69,6	72	74,4
Total			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Tabla 2.5. Dosificación para las probetas Marshall

Mezclas densas tipo B (Densa –% granulometría máxima)

% asfalto aplicado a la mezcla			5,80%	6,00%
tamiz	% pasa	% Retenido	peso material (g)	peso material (g)
1/4 "	65	35	395,64	394,80
# 5	60	5	56,52	56,40
# 10	38	22	248,69	248,16
# 200	7,7	30,3	342,51	341,78
fino		7,7	87,04	86,86
Asfalto			69,60	72
Total			1200,00	1200,00

Tabla 2.6. Porcentajes de asfalto

Mezclas	% Asfalto (asfalto/ Asfaltita)
Tipo A	5,6
Tipo A	5,8
Tipo A	6,0
Tipo A	6,2
Tipo B	5,8
Tipo B	6,0

2.3.1 Metodología usada para la fabricación de probetas.

Las probetas fueron fabricadas según la metodología de la norma “Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall” (INV E-748) con un peso total de mezcla de 1200 gramos aproximadamente. Este procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de ± 101 mm de diámetro y ± 63.5 mm de altura, y se prosigue con la elaboración de estas en el laboratorio según la norma.

- **Número de probetas fabricadas:**

Para la mezcla densa (EME) como se trabajo con dos granulometrías una máxima y una media, se elaboraron tres especímenes de cada porcentaje para obtener una mayor precisión en el promedio de los datos.

En total fueron fabricadas 18 probetas a las cuáles se le realizaran los ensayos restantes.

- **Temperatura de mezcla y compactación:**

Las temperaturas de mezcla y compactación fueron aquellas que en el ensayo de viscosidad presentan un valor de 170 ± 20 centistokes y 280 ± 30 centistokes y estas temperaturas fueron 170 °C para la mezcla y 160 °C para la compactación.

- **Compactación de las Probetas:**

La compactación de las probetas se realiza con un martillo de acero que posee una base circular de $37/8$ “ y un pistón de 10 Lb de peso , aplicándoseles una carga de 75 golpes por cada cara de manera homogénea y distribuyendo los golpes alrededor de todo el molde para que la compactación se dé horizontal y estas queden planas para evitar que en el momento de aplicares carga y evaluar la deformación no presente comportamientos variables, en vez de comportamientos semejantes entre las probetas elaboradas.

La compactación se realizo con este número de golpes porque el diseño de la mezcla es para un tráfico pesado según lo enuncia la norma I.N.V. E748.

Fotografía 2.12. Proceso de compactación



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.4. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS

Los ensayos realizados en esta investigación están estandarizados por la norma de invias, excepto los ensayos de de Modulo Elástico (7.5 °C) y Deformación ante una carga constante a 60°C (CREEP) las cuales se idealizaron como se describe más adelante para efecto de esta investigación.

2.4.1 Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados I.N.V. E – 734 – 07.

Este método busca determinar la gravedad específica bulk y densidad de los especímenes de mezclas asfálticas compactadas, la cual consiste en la relación que hay entre su peso en el aire y su volumen (incluyendo los vacíos permeables); cuyo valor es útil para calcular el porcentaje de vacíos de aire como se indica en las normas INV E – 736 y la densidad de mezclas asfálticas compactadas.

El procedimiento consiste en:

1. Pesar los pesos iniciales de las probetas solas (A)
2. Se recubren de parafina con una capa significativamente gruesa para que se sellen todos los poros superficiales de la probeta.
3. se dejan enfriar aproximadamente 30 min
4. se toma el peso de las probetas con parafina (D)

5. se dispone un recipiente con agua, introduciendo uno a uno los especímenes y se toma esta masa como (E).

Fotografía 2.13. Especímenes parafinados



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.4.2 Gravedad Específica Máxima Teórica (Gmm) y Densidad de mezclas asfálticas para pavimentos I.N.V. E – 735 – 07.

La gravedad específica teórica máxima y la densidad de mezclas asfálticas para pavimentos son propiedades importantes porque estos valores están afectados por la composición de la mezcla en términos del tipo y cantidad de agregados y de los materiales asfálticos.

Estos valores son usados para calcular el porcentaje de vacíos con aire en una mezcla de pavimento asfáltico en caliente compactada. También son esenciales para calcular la cantidad de asfalto absorbido por los poros internos del agregado en una mezcla.

2.4.3 Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas INV E-736-07.

Después de haber realizado las pruebas de estabilidad y flujo a los especímenes, se realiza el análisis de vacíos para cada serie y Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y efectiva total del agregado, el promedio de las gravedades específicas y teórica máxima de la mezcla asfáltica compactada, y la gravedad específica del asfalto, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (bolsas de aire presentes entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto) que posee las probetas compactadas densas (Va); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

1. El procedimiento consiste en tener Una muestra de mezcla asfáltica suelta, seca al horno y previamente pesada (800 grs)
2. se coloca en un frasco de vacío tarado.
3. Se agrega suficiente agua hasta llevar la muestra a un estado sumergido y se marca hasta donde llega el agua.
4. Se le aplica vacíos gradualmente para reducir la presión residual en el frasco de vacíos y se sostiene por un período de 15.0 ± 2 min.
5. Al final del período de aplicación, se retira Gradualmente el frasco y se enraza con agua de nuevo hasta el punto de medida, luego se pesa el contenido del frasco.

Fotografía 2.14 Esquema ensayo de Vacios



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.4.4 Modulo Elástico bajo carga monotónica (7.5 °C)

El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico el cual posee la característica de sufrir deformaciones reversibles estando sujetos a la acción de fuerzas exteriores, recuperando la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

En un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad tiene el mismo valor ya que es una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico (tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes), y es siempre mayor que cero. El módulo de elasticidad y el límite elástico son una constante elástica que se pueden determinar empíricamente.

$$\sigma = E * D$$

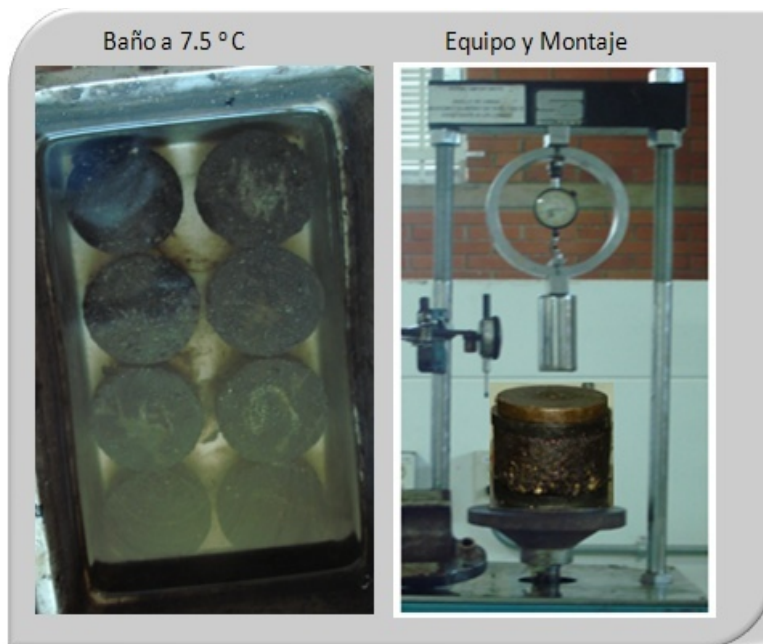
Esta ecuación representa la porción inicial recta del diagrama esfuerzo-deformación hasta el límite proporcional. Donde la pendiente de esta línea representa, el módulo de elasticidad. Debido a que la deformación unitaria no tiene dimensiones, según esta ecuación tendrá unidades de esfuerzo, tales como psi, ksi o pascales⁷.

El Procedimiento consiste en:

1. Depositar agua a una temperatura de 7.5 °C y sumergir las probetas durante 30 minutos
2. Se sacan y se les aplica una carga ascendente en la maquina Marshall hasta llegar a el 10% (57.7lb) de la carga que soporta la probeta este valor limite fue determinado fallando una probeta a temperatura ambiente, tomando los valores de deformación y carga ascendente a medida que se incrementa esta.

⁷ www.es.wikipedia.org/wiki/Módulo_de_elasticidad

Fotografía 2.15 Esquema ensayo de Modulo Elástico



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.4.5 CREEP sin confinar (carga estática - 60°C)

Como las mezclas está compuesta de materiales viscoelásticos y sus propiedades condicionan el comportamiento en servicio, estas son dependientes de la frecuencia de aplicación de cargas y la variación de la temperatura.

Este ensayo con o sin confinamiento lateral y carga estática es muy usado porque que permite evaluar características de la mezcla como el ahuellamiento⁸. Sus resultados expresan la evolución de la deformación específica permanente en función del tiempo, para una carga aplicada y temperatura de ensayo, donde se somete a las probetas de tipo Marshall a un ensayo de compresión vertical con carga estática, sin confinamiento lateral para condiciones prefijadas de carga y temperatura. Los resultados encontrados solo permiten comparar el comportamiento de la mezcla ante la deformación acumulada. El Procedimiento consiste en:

⁸ http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2006/rtid06_02.pdf

1. tener agua a una temperatura de 60 ° C
2. sumergir las probetas durante 30 minutos
3. se saca uno a uno los especímenes y en la maquina Marshall se les aplica una carga de 100.125 lb.

Nota: se debe garantizar que durante la aplicación de carga la temperatura de la probeta se mantenga constante en 60 ° C

4. Se toman las deformaciones en intervalos de tiempo de aproximadamente 2 minutos durante 1 hora.

Fotografía 2.16 Esquema ensayo de CREEP a 60°C

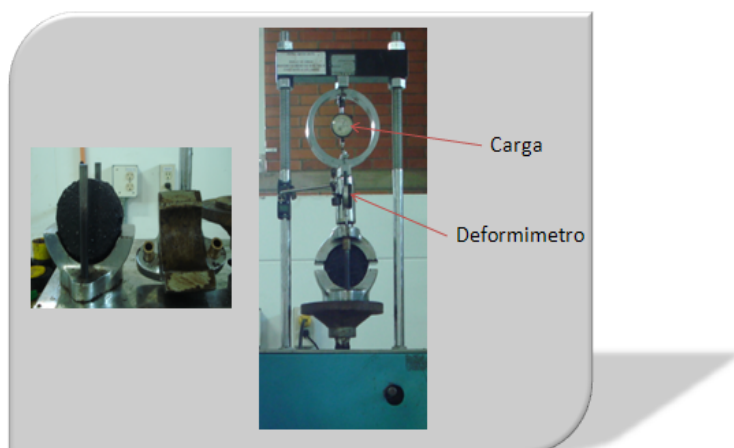


Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

2.4.6 Estabilidad y Flujo (INV. E – 748)

1. Se colocan las probetas en un baño de agua durante 30 o 40 minutos a $37.8^{\circ} \pm 1^{\circ}$ C ($100^{\circ} \pm 1.8^{\circ}$ F).
2. Se limpian y se lubrican las barras guías y las superficies interiores de las mordazas.
3. Se retira una probeta del baño de agua y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Se coloca el medidor de flujo en posición, se ajusta a cero, y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
4. Se aplica la carga sobre la probeta con la prensa a una tasa de deformación constante, hasta que ocurra la falla (cuando se alcanza la máxima carga) y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo.
5. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo. El valor total en Newton (kgf) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de Estabilidad Marshall. Se anota la lectura del medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Este será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en mm, e indica la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura.

Fotografía 2.17 Ensayo de Estabilidad y Flujo



Fuente: Archivos personales Adriana Méndez y Yudith Núñez

3. RESULTADOS

3.1 Agregados

En la tabla 3.1 encontramos una descripción de las propiedades que posee los agregados de cañón del chicamocho

Tabla 3.1 Características de los agregados

ENSAYO	NORMA	ESPEC. (INV Art 400)	METODO ASTM	VALOR
		Mezcla densa en caliente		
Granulometría	INV E - 213	-		-
Ind. Alargamiento	INV E - 230	30 % Max	D4791	17,70%
Ind. Aplanamiento	INV E - 230	30 % Max	D4791	24,62%
Desgaste Los Angeles	INV E - 219	25 % Max		23,99%
% Caras Fracturadas	INV E - 227	75 % Min		90,89%
Solidez	INV E - 220	12 % Max		0,79%
Equivalente de Arena	INV E - 133	50 % Min		93,80%
Peso Especifico Grueso	INV E - 223	-		2,70%
Peso Especifico Fino	INV E - 222	-		2,66%
Peso Especifico Filler	INV E - 222	-		2,46%
% Absorción Grueso	INV E - 223	-		0,70%
% Absorción Fino	INV E - 222	-		1,83%
% Absorción Filler	INV E - 222	-		0,54%

Los resultados que a continuación se presentan son valores promedios obtenidos de los diferentes ensayos que se le realizaron al asfalto (asfalto/asfaltita) y a las mezclas (probetas), y se relaciona los materias que se emplearon para su fabricación.

3.2. Caracterización de Probetas

3.2.1 Nomenclatura.

Cada probeta está identificada por tipo de mezcla, porcentaje de asfalto y número de probeta.

El tipo de mezcla se representan mediante las siguientes iniciales:

- **A:** Granulometría EME Densa –media
- **B:** Granulometría EME Densa –máxima

El porcentaje de asfalto está representado en el orden de numeración de las probetas según la tabla 3.2

Tabla 3.2 % asfalto (asfalto /asfaltita) según el tipo de granulometría

Mezclas	% Asfalto
A (1,2,3)	5,6
A (4,5,6)	5,8
A (7,8,9)	6,0
A (10,11,12)	6,2
B (13,14,15)	5,8
B (16,17,18)	6,0

3.2.2 Geometría

La geometría de las probetas compactadas, que incluye su diámetro y altura, ha sido determinada realizando tres mediciones en cada una de ellas. El valor promedio de estos parámetros, puede observarse en el Anexo B.1.

Tabla 3.3 Geometría probetas

Probeta	Altura _{prom} (mm)	Diámetro (cm)
A	60,4	10,5
	61,4	10,3
	59,2	10,4
	62,0	10,3
B	61,4	10,4
	71,7	10,3

3.3 Ensayos realizados al asfalto (asfalto/asfaltita).

Los laboratorios realizados en primera instancia fueron los que dieron el porcentaje de asfaltita que se utilizó durante toda la investigación,

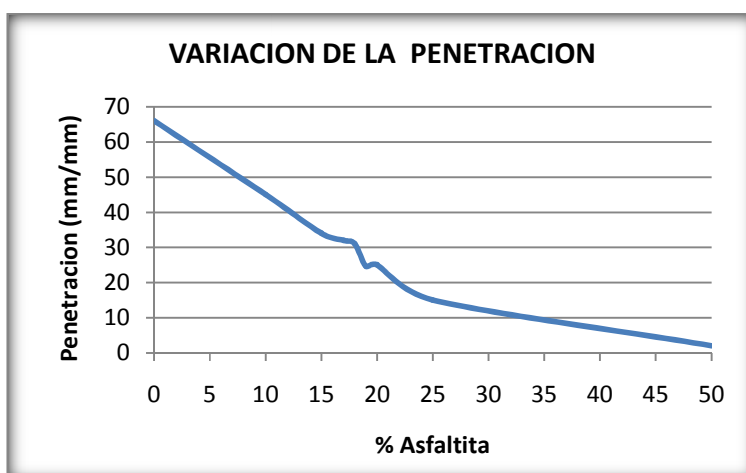
3.3.1 Penetración

Los porcentajes con los cuales trabajamos en este ensayo están consignados en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Porcentajes de Asfaltita ensayados.

% asfaltita \ %asfalto	50	25	20	19	18	17	15	10	0
50	2								
75		15							
80			25						
81				25					
82					31				
83						32			
85							34		
90								45	
100									66

Grafica 3.1 Comportamiento de la asfaltita con respecto a la penetración.



Como se puede observar a medida que se aumenta la cantidad de asfaltita el comportamiento del asfalto comienza a presentar una disminución con respecto a la penetración.

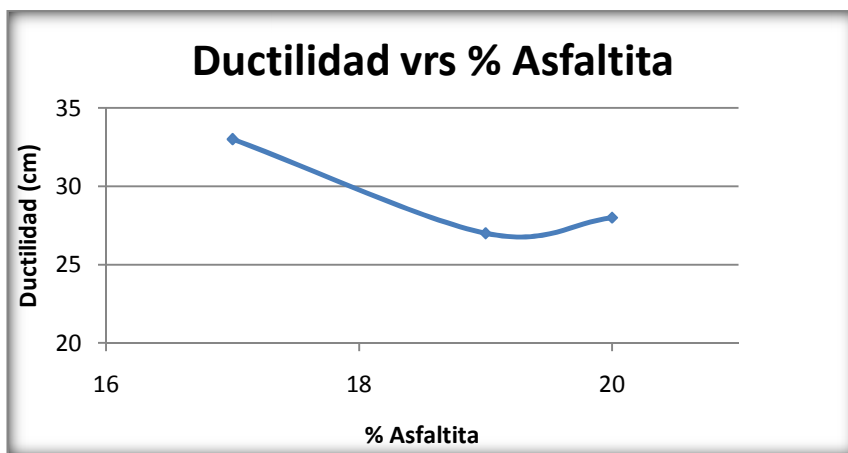
3.2.2 Ductilidad

El comportamiento obtenido en el ensayo de ductilidad lo podemos observar en la grafica 3.2.

Tabla 3.5 Variación de la Ductilidad

% asfaltita	Ductilidad cm
17	33
19	27
20	28

Grafica 3.2 Variación de la Ductilidad



Con los porcentajes cercanos a una penetración 20/30 tenemos que la temperatura tiende a disminuir levemente, dependiendo de la cantidad de asfaltita.

3.2.3 Punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento presenta una variación no muy notoria en el incremento pero tiende a aumentar su valor como se observa en la tabla 3.6

Tabla 3.6 Punto de Ablandamiento

%asfaltita	°C
19	56
20	58

3.2.4 Solubilidad en tricloroetileno

Para la muestra los resultados obtenidos fueron que el 100% de la solución del asfalto era soluble en el tricloroetileno.

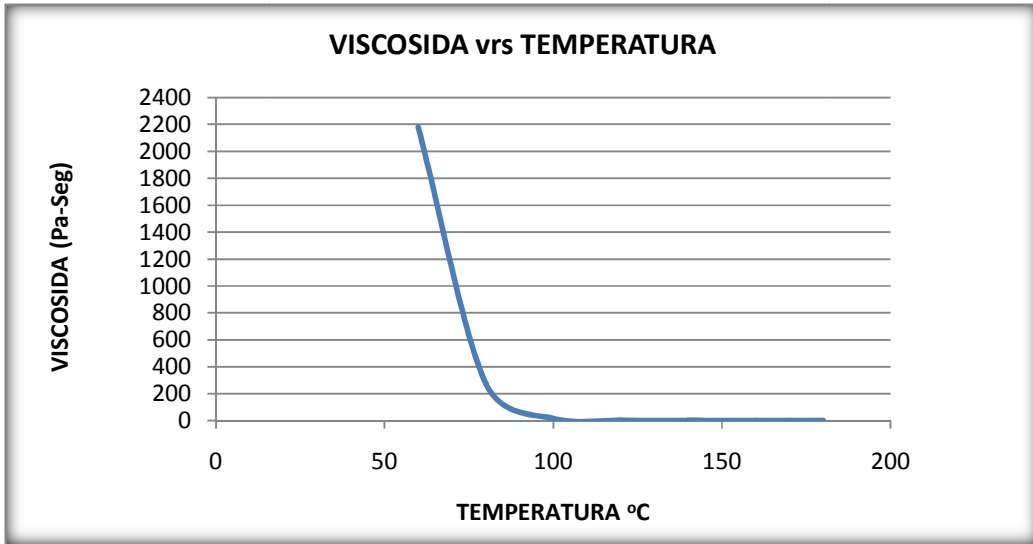
3.2.5 Punto de llama

Para la mezcla 20% de asfaltita y 80 % de asfalto 60/70 se obtuvo una temperatura de llama entre 320°C -340°C

3.2.6 Viscosidad Dinámica.

El comportamiento de la viscosidad del la mezcla (asfalto / asfaltita) es de manera decreciente a medida que se aumenta la temperatura, lo que significa que el asfalto se hace viscoso a temperatura elevas. Además en grafica 3.3 se determinaron los valores de la temperatura de compactación y mezclado de la mezcla ya mencionadas anteriormente en el capítulo 2.

Grafica 3.3 Variación de la Viscosidad Dinámica



3.2.7 Contenido de parafina:

La estimación de la presencia de parafina en el asfalto se realizó con base en la tendencia que da la muestra en estudio comparándolo con la curva del **Diagrama de Heukelom**

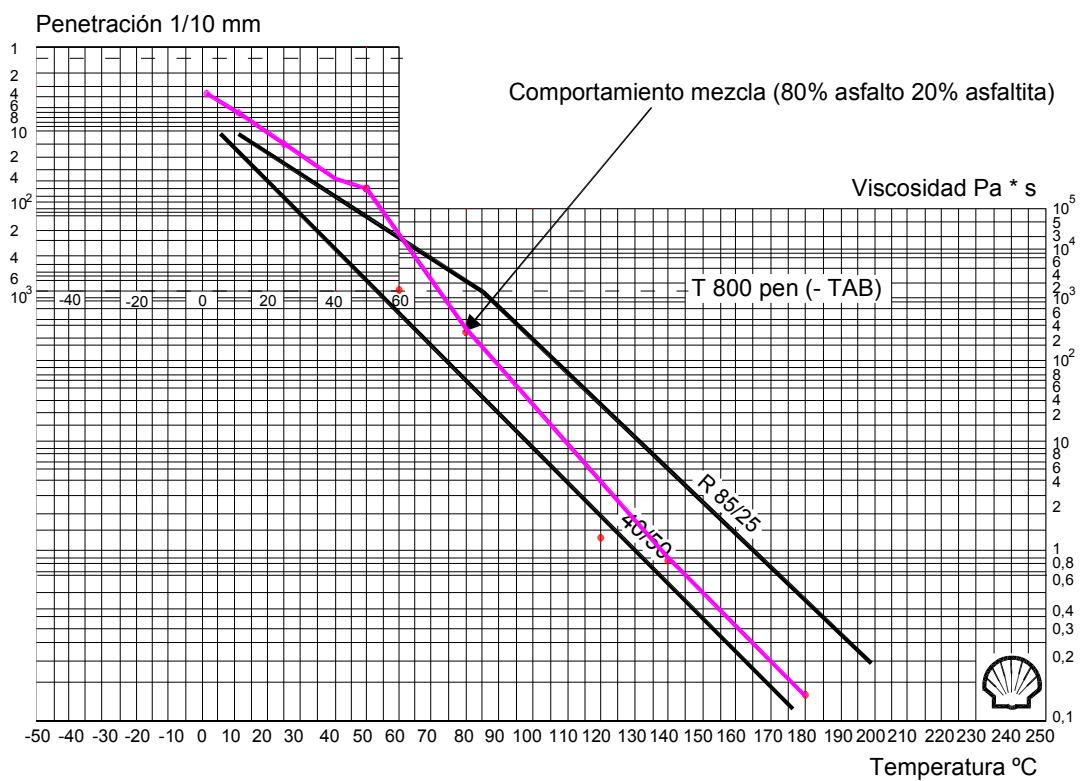
Tabla 3.7 Datos de Penetración para la determinación de la presencia de parafinas

Temperatura °C	Penetración (mm)
2	3,7
6	10,8
25	25
40	37
50	46

Tabla 3.8 Datos de Viscosidad para la determinación de la presencia de parafinas

Temperatura °C	viscosidad dinámica (pa-seg)
60	2180
80	276
100	14,784
120	1,2153
140	0,8448
160	0,304
170	0,1993
180	0,1267

Grafica 3.4 Tendencia de la mezcla (asfalto / asfaltita 20 %)



Descripción experimental del comportamiento del asfalto según Heukelom.

Con la comparación realizada se puede concluir que hay presencia de parafina en la mezcla (asfalto / asfaltita 20%).

En la tabla 3.9 se encuentran consignados los resultados de todos los ensayos realizados al asfalto (asfalto /asfaltita) y sus respectiva especificación para corroborar su comportamiento como un asfalto de grado de penetración 20/30.

Tabla 3.9 Ensayos realizados a la mezcla 80 % Asfalto y 20 % Asfaltita.

ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION		NORMA
			MIN	MAX	
Penetración a 25 °C	mm/10	25	20	30	INV 706
Ductilidad	cm	28	25	-	INV 702
Viscosidad 60 ° C	Pa-seg	2180			
Punto de Ablandamiento	°C	58	53	63	INV 712
Temperatura de Compactación	°C	160	-	-	INV 748
Temperatura de Mezclado	°C	170	-	-	INV 748
TFOT a 163 °C:					
<input type="checkbox"/> Perdida de masa	%	0.455	-	0.5	INV 721
<input type="checkbox"/> Incrementó del punto Ablandamiento	°C	5	-	8	
<input type="checkbox"/> Punto de Ablandamiento después	°C	63	57	-	
<input type="checkbox"/> Residual Penetración	%	60	55	-	
Punto de llama	°C	324	250	-	INV 709
Solubilidad en tricloroetileno C ₂ C ₁₄	%	100	99	-	
Contenido de parafina	%	-	-	4.5	NF EN 1206-2

3.3 Ensayos realizados a las probetas

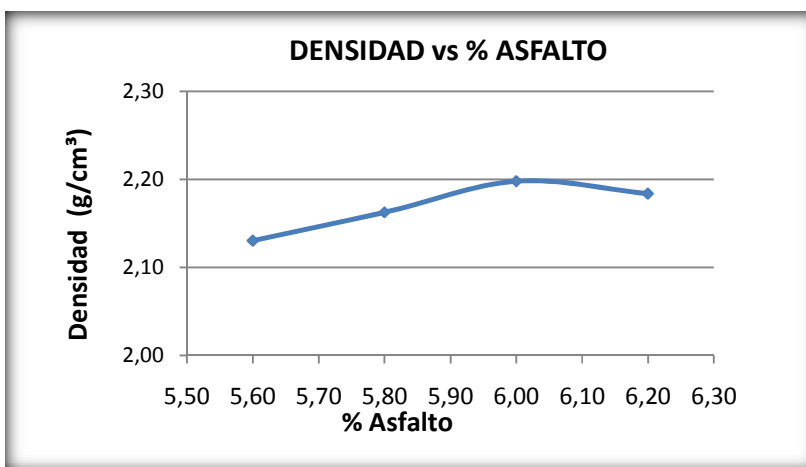
3.3.1 Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas especímenes parafinados.

En la tabla 3.10 se encuentran los valores promedios de densidad. (Ver anexo B.2)

Tabla 3.10 Valores Promedio de la Densidad

	Briquetas	Densidad (g/cm ³)
A	A _{prom} 1,2,3	2,14
	A _{prom} 4,5,6	2,17
	A _{prom} 7,8,9	2,20
	A _{prom} 10,11,12	2,19
B	B _{prom} 13,14,15	2,20
	B _{prom} 16,17,18	2,17

Grafica 3.5 Densidad vs % Asfalto



3.3.2 Gravedad específica máxima teórica (Gmm) de mezclas asfálticas para pavimentos

Tabla 3.11 Gravedad máxima media

	% Asfalto	Gmm
A	5,60	2,54
	5,80	2,46
	6,00	2,45
	6,20	2,38
B	5,80	2,36
	6,00	2,33

3.3.3 Porcentaje de vacios de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas

TABLA 3.12 Porcentaje de vacios en la mezcla.

	% Asfalto	% vacios
A	5,60	16,0
	5,80	11,9
	6,00	9,9
	6,20	7,9
B	5,80	6,7
	6,00	6,7

Grafica 3.6 % vacios en la mezcla

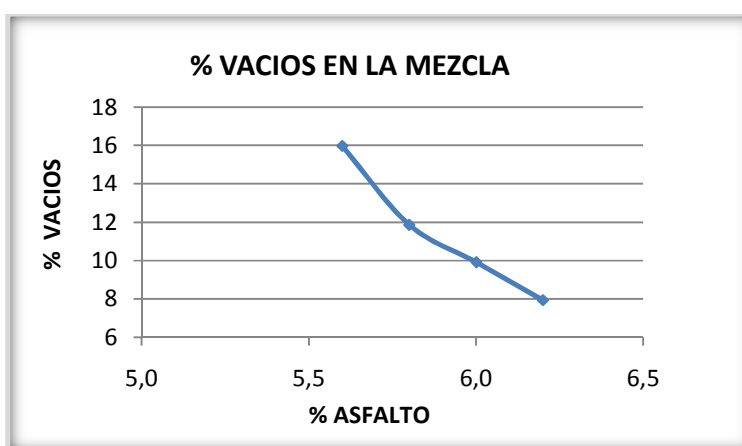
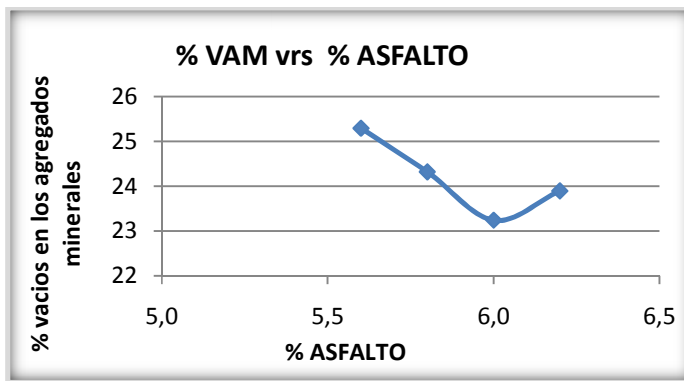


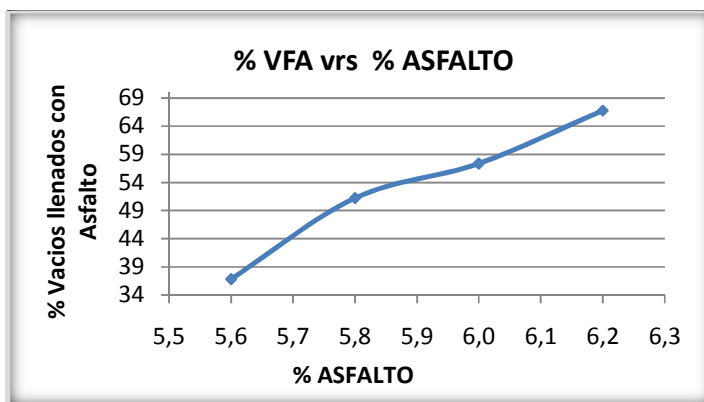
Tabla 3.13 Porcentaje de vacios en los agregados

	% Asfalto	%VAM	%VFA
A	5,60	25,3	36,86
	5,80	24,3	51,22
	6,00	23,2	57,38
	6,20	23,9	66,78
B	5,80	23,0	70,73
	6,00	24,2	72,48

Grafica 3.7 % vacios en los agregados vs % asfalto.



Grafica 3.8 % vacios llenados con asfalto vs % asfalto.



La mezcla se comporta de manera normal según se puede deducir de comportamiento de la graficas 3.7, 3.8, 3.9:

3.3.4 Modulo elástico de mezclas asfálticas

A continuación se mostrarán las gráficas de los datos promedio entre las tres probetas que se fabricaron para cada porcentaje de asfalto.

Se observará el comportamiento del diagrama esfuerzo deformación teniendo en cuenta que estamos en el rango elástico de la probeta y que su tendencia en este rango deberá ser lineal y el modulo es un valor que es constante independiente del esfuerzo, mientras se mantenga en la zona elástica.

Para su determinación partimos de la ecuación de la recta y su pendiente representa el valor del modulo elástico. (Anexo B.5)

Tabla 3.14 Valores de Deformación promedio

Carga (MPa)	0,056	0,111	0,167	0,222	0,278	0,333
A _{prom} (1,2,3)	0.005	0.008	0.012	0.015	0.018	0.021
A _{prom} (4,5,6)	0.005	0.007	0.010	0.012	0.014	0.017
A _{prom} (7,8,9)	0.004	0.006	0.008	0.011	0.014	0.016
A _{prom} (10,11,12)	0.004	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015
Mezcla tradicional	0.012	0.020	0.026	0.032	0.035	0.036

Gráfica 3.9 Diagrama promedio Esfuerzo vs Deformación

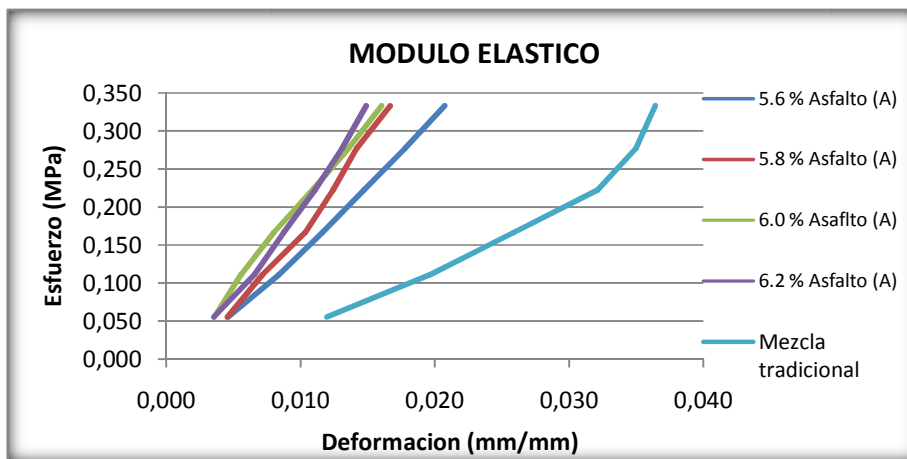


Tabla 3.15 Valores del modulo de Elasticidad

% ASFALTO	ECUACION DE LA RECTA	MODULO ELASTICO (MPa)
5,6	$y = 17,35x - 0,031$	17.35
5,8	$y = 23,01x - 0,056$	23.01
6,0	$y = 21,75x - 0,014$	21.75
6,2	$y = 24,54x - 0,042$	24.54
Mezcla tradicional	$y = 10,54x - 0,088$	10.54

Tabla 3.16 Valores de Deformación promedio

Carga (MPa)	0,056	0,111	0,167	0,222	0,278	0,333
B _{prom} (13,14,15)	0.003	0.006	0.008	0.01	0.013	0.015
B _{prom} (16,17,18)	0.002	0.006	0.008	0.01	0.013	0.015
Mezcla tradicional	0.012	0.020	0.026	0.032	0.035	0.036

Grafica 3.10 Diagrama promedio Esfuerzo vs Deformación

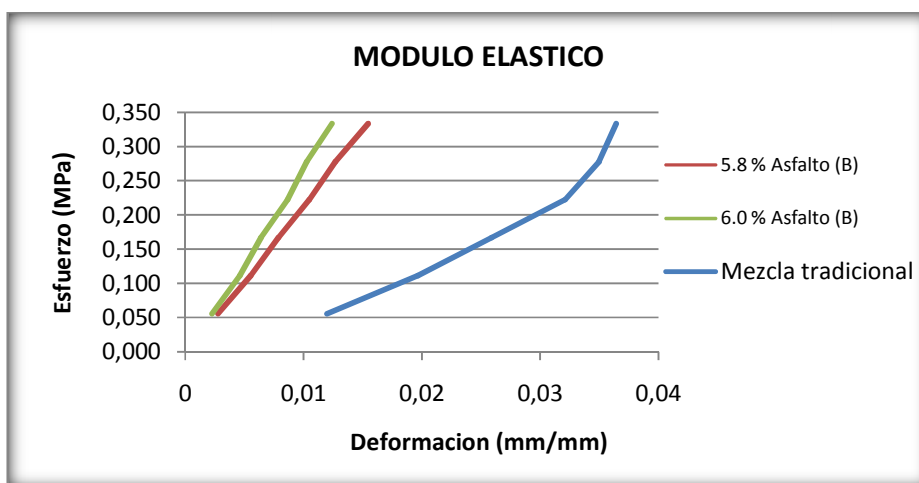


Tabla 3.17 Valores del modulo de Elasticidad

% asfalto	ECUACION LINEAL	MODULO ELASTICO (MPa)
5,8	$y = 22,18x - 0,008$	22,18
6,0	$y = 27,71x - 0,011$	27,71
Mezcla tradicional	$y = 10,54x - 0,088$	10,54

3.3.5 CREEP los valores y tabla de datos de cada probeta están en anexo B.6

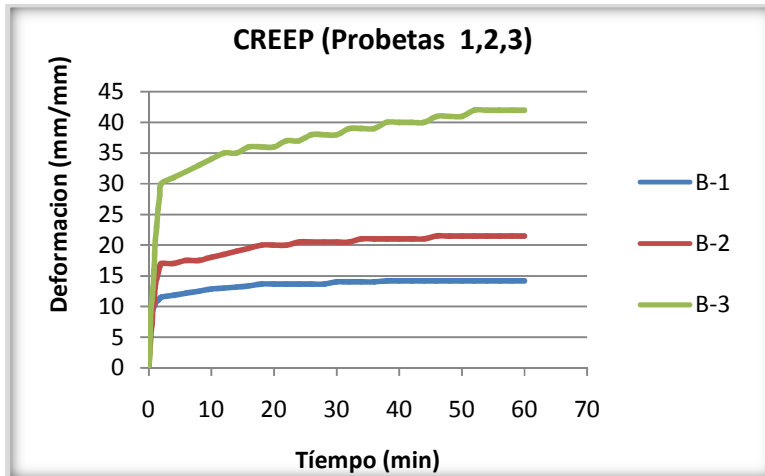
Tabla 3.18 Valores promedios de deformaciones a carga constante (10.125 lb)

TIEMPO (min)	DEFORMACION PROMEDIO (mm/mm)						Mezcla tradicional
	5.6 % (A)	5.8% (A)	6.0 % (A)	6.2 % (A)	5.8 % (B)	6.0 % (B)	
0	0	0	0	0	0	0	
0,17	0,001	0,002	0,004	0,003	0,0013	0,0054	0,0042
0,33	0,003	0,002	0,005	0,004	0,0024	0,0068	0,0051
0,5	0,004	0,003	0,005	0,004	0,0031	0,0075	0,0064
0,667	0,004	0,004	0,005	0,005	0,0041	0,0080	0,0082
0,833	0,005	0,004	0,006	0,005	0,0048	0,0085	0,0095
1	0,006	0,005	0,006	0,006	0,0055	0,0088	0,0097
1,25	0,006	0,005	0,006	0,007	0,0062	0,0091	0,0106
1,5	0,007	0,005	0,006	0,008	0,0068	0,0093	0,0111
1,75	0,007	0,005	0,006	0,009	0,0075	0,0100	0,0127
2	0,008	0,006	0,007	0,010	0,0083	0,0108	0,0133
4	0,008	0,007	0,007	0,010	0,0086	0,0111	0,0138
6	0,008	0,007	0,008	0,011	0,0093	0,0115	0,0144
8	0,008	0,008	0,008	0,012	0,0099	0,0120	0,0150
10	0,008	0,008	0,009	0,012	0,0103	0,0122	0,0151
12	0,009	0,009	0,009	0,012	0,0108	0,0124	0,0156
14	0,009	0,010	0,009	0,013	0,0113	0,0127	0,0155
16	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0116	0,0129	0,0160
18	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0118	0,0130	0,0160
20	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0120	0,0132	0,0162
22	0,009	0,010	0,011	0,013	0,0122	0,0133	0,0162
24	0,009	0,010	0,011	0,014	0,0123	0,0135	0,0167
26	0,009	0,011	0,011	0,014	0,0127	0,0136	0,0168
28	0,009	0,011	0,011	0,014	0,0129	0,0137	0,0168
30	0,009	0,012	0,012	0,014	0,0131	0,0138	0,0168
32	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0131	0,0140	0,0168
34	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0131	0,0140	0,0168
36	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0132	0,0142	0,0171
38	0,010	0,012	0,013	0,015	0,0133	0,0143	0,0169
40	0,010	0,012	0,013	0,015	0,0133	0,0144	0,0169
42	0,010	0,013	0,013	0,015	0,0133	0,0145	0,0170
44	0,010	0,013	0,013	0,015	0,0134	0,0145	0,0172
46	0,010	0,013	0,014	0,015	0,0134	0,0146	0,0172

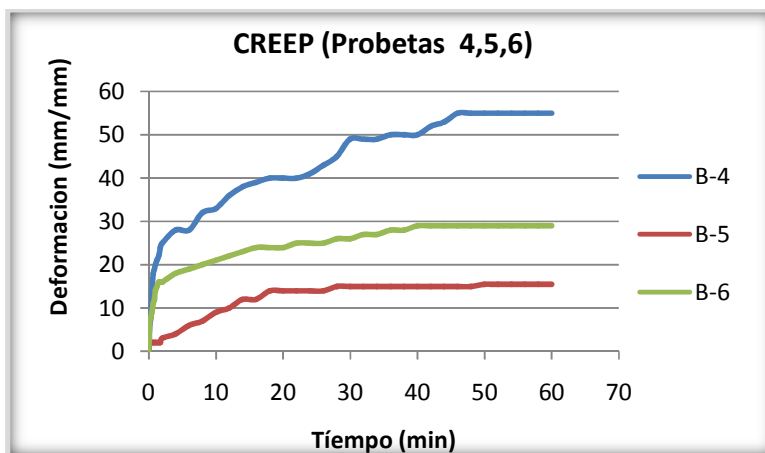
Tabla 3.18 Valores promedios de deformaciones a carga constante (10.125 lb)

DEFORMACION PROMEDIO (mm/mm)							
TIEMPO (min)	5.6 % (A)	5.8% (A)	6.0 % (A)	6.2 % (A)	5.8 % (B)	6.0 % (B)	Mezcla tradicional
48	0,010	0,013	0,014	0,015			0,0172
50	0,010	0,013	0,014	0,016			0,0172
52	0,010	0,013	0,014	0,016			0,0172
54	0,010	0,013	0,014	0,016			0,0172
56	0,010	0,013	0,015	0,016			0,0172
58	0,010	0,013	0,015	0,016			0,0172
60	0,010	0,013	0,015	0,016			0,0172

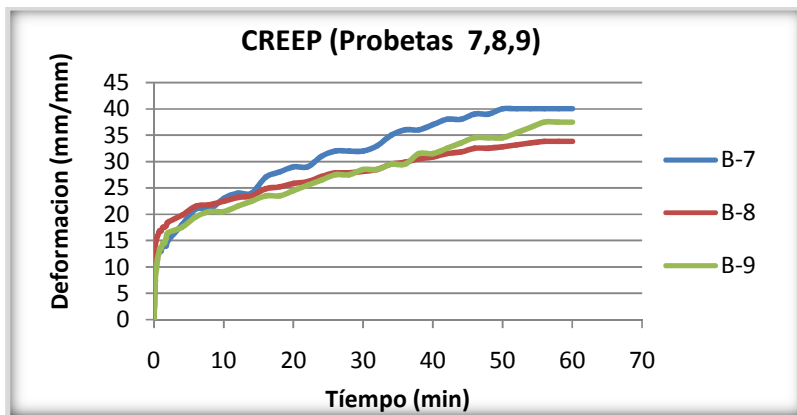
Grafica 3.11 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 1, 2,3).



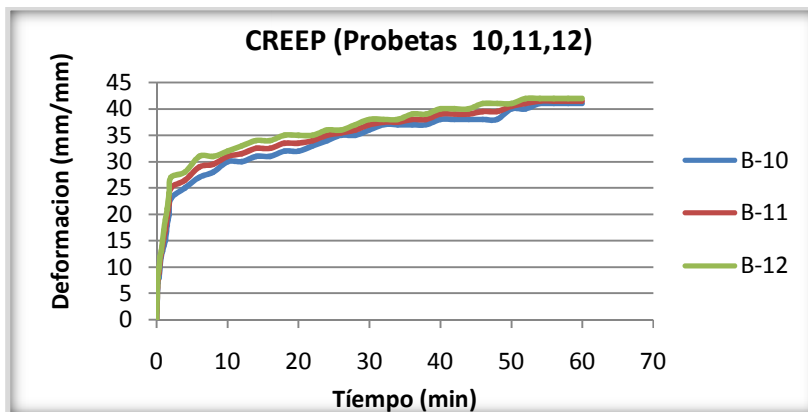
Grafica 3.12 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 4, 5,6).



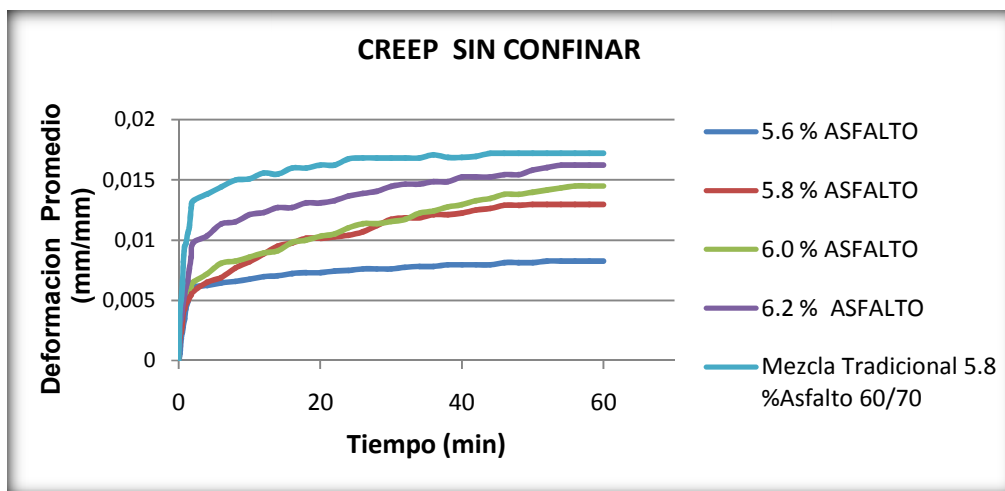
Grafica 3.13 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 7, 8,9).



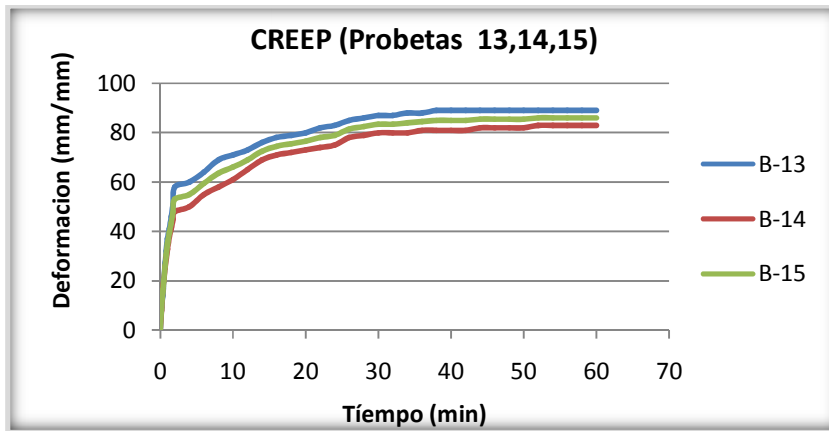
Grafica 3.14 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 10, 11,12).



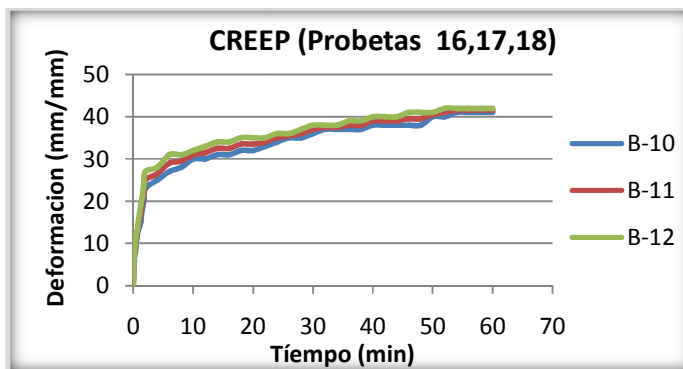
Grafica 3.15 Evolución Deformación Promedio en función del tiempo (tipo A)



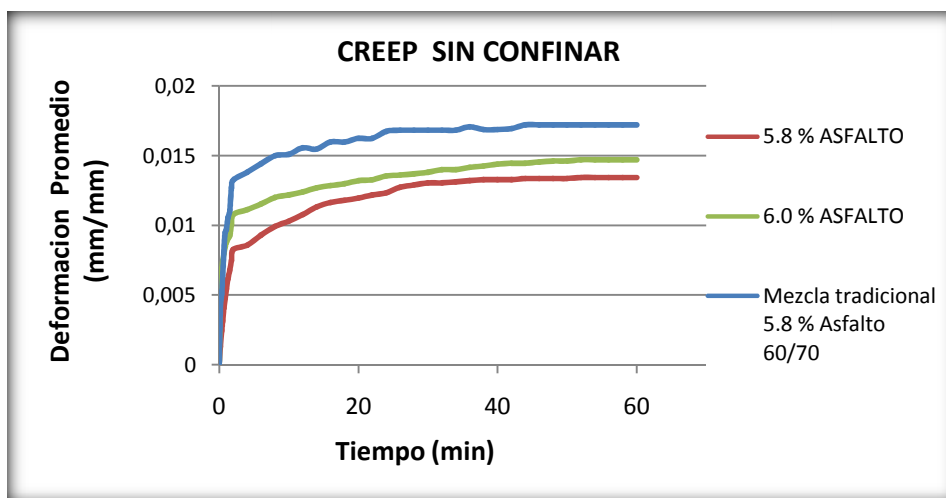
Grafica 3.16 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 13, 14,15).



Grafica 3.17 Evolución Deformación en función del tiempo (probetas 16, 17,18).



Grafica 3.18 Evolución Deformación Promedio en función del tiempo. (Tipo B)

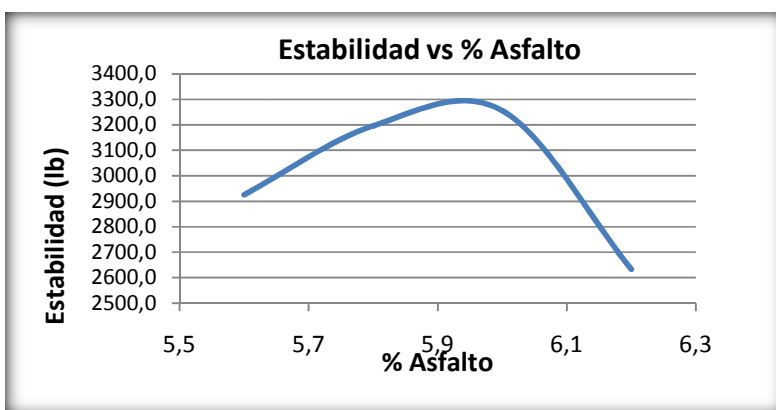


3.3.6 Estabilidad y Flujo

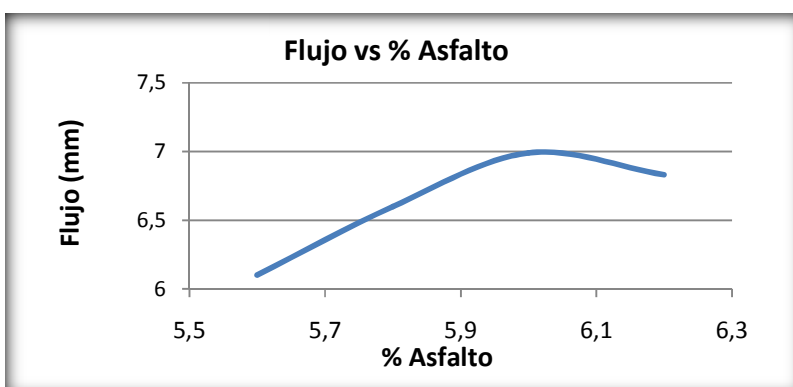
Tabla 3.19 Valores obtenido de estabilidad y flujo

Probeta	Asfalto (%)	ESTABILIDAD (lb)			Flujo (mm)
		Estabilidad Promedio	Estabilidad _{corr}	Factor	
1,2,3	5,6	2683,1	2924,6	1,09	6.10
4,5,6	5,8	3017,3	3195,3	1,059	6.60
7,8,9	6	2885,6	3255,0	1,128	6.99
10,11,12	6,2	2531,3	2632,6	1,04	6.83
13,14,15	5,8	3179,3	3366,9	1,059	7.37
16,17,18	6	2865,4	2372,6	0,828	6.79

Grafica 3.19 Estabilidad Vs % Asfalto



Grafica 3.20 Flujo Vs % Asfalto



4. ANALISIS DE RESULTADOS

- Los ensayos realizados a la muestra de asfalto con su respectiva combinación con asfaltita arrojó comportamientos muy semejantes a los del asfalto 20/30 debido a que su densidad, punto de ablandamiento, viscosidad y penetración, se obtuvieron valores dentro del los rangos establecido para este tipo de asfalto.
- En cuanto a la tendencia de las diferentes graficas realizadas en los ensayos de la mezcla (asfalto + agregado), se observó que están dentro de los que posee una mezcla normal.
- Al comparar una mezcla tradicional empleando asfalto (60/70) y las diseñadas asfalto (20/30), se observa que la deformación es mayor en las mezclas tradicionales.
- Al comparar el Modulo Elástico de la mezcla tradicional con las mezclas diseñadas, se observa que este es mayor en las mezclas diseñadas con asfalto 20/30,
- La deformación respecto al tiempo de carga (Creep) es mayor en la mezcla tradicional que en las mezclas diseñadas.

5. RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este proceso investigativo se logro establecer las siguientes recomendaciones para proyectos futuros:

- Para obtener resultado más óptimos en los ensayos realizados a la mezcla (asfalto /asfaltita) se recomienda emplear un agitador mecánico a baja revolución en el momento de diluir el asfalto para garantizar la homogenización de estos en un 100 % y así mejorar su comportamiento como asfalto.
- Se recomienda para estudios futuros realizar un análisis de costos en el cual se pueda evaluar la rentabilidad al emplear esta tipo de mezclas (asfalto /asfaltita) ya que el departamento de Santander posee un yacimiento apreciable.
- Se recomienda continuar el estudio de la muestra de asfalto (asfalto /asfaltita) para evaluar su comportamiento en campo.
- Tratar de adquirir nuevos equipos para complementar los ensayos que en el laboratorio se implementan y que son ensayos que permiten evaluar mas propiedades del comportamiento del asfalto como el ensayo de viscosidad dinámica, el ensayo de TFOT, entre otros

6. CONCLUSIONES

El material presente en la región de la Tigra del departamento de Santander puede llegar a ser empleado en la modificación de asfaltos para la construcción de proyectos viales.

El uso de la asfaltita en estas mezclas de baja penetración debe ser en una proporción baja, debido a que la asfaltita presenta propiedades de rigidez muy alta, conllevando así a que la mezcla asfáltica sea más frágil.

La resistencia a la tracción de la combinación de 20% de asfaltita y 80 % asfalto 60/70, varía dependiendo de la homogenización que posea la mezcla porque si esta no está bien homogenizada los valores de la ductilidad varían notoriamente, causando que el asfalto sea menos flexible y sufra rotura.

BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO MAYORGA PINTO, RAÚL OBREGÓN PORRAS, Utilización de asfaltitas en pavimentos. Proyecto de grado.uis1990.

HENRRY CHAVARRO ROJAS, FABIO A. GOMEZ SANABRIA. Utilización de una mezcla asfalto –asfaltita en pavimentos para vías. Proyecto de grado.uis

EMILIO ARENAS ROMERO Y ANDRES JULIAN SERRANO CORZO “análisis comparativo de propiedades de deformación en mezclas MDC-2, MDC-3, MI y Stone matrix Asphalt”. Proyecto de grado.uis 2006

ARIEL E. BARRERA, LUÍS GUILLERMO BLANCO, Caracterización físico-química de los yacimientos de asfalto natural de Río negro, Santander y su factibilidad en uso industrial, proyecto de grado.uis 1989.

JAIRO ALBERTO LONDOÑO CALA, SANDRA VILLAMIZAR LEAL, Evaluación de la caracterización de agregados para capas de pavimentos”. Proyecto de grado.uis1997.

NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS, Instituto Nacional de Vías

ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, Instituto Nacional de Vías.

Páginas de internet:

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Módulo_de_elasticidad

<http://www.e-asphalt.com/asfaltitas/asfaltitas.htm>

www.e-asphalt.com/trabaf/ecuador2003.pdf

http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt/rt/2006/rtid06_02.pdf

<http://www.e-asphalt.com/superpave/superpave.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS



Anexo A.1: Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado original del material de la cantera de Chicamocha

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA**

FECHA : _____
 PROYECTO : _____
 LOCALIZACION : _____
 MUESTRA : _____

PESO TARA (gr)	370
TARA + MUESTRA HUMEDA (gr)	10915
TARA+MUESTRA SECA (gr)	9715
PESO AGUA (gr)	
PESO MUEST. SECA (gr)	9345
HUMEDAD (%)	

PESO INICIAL DE LAMUESTRA gr : _____
 PESO DESPUES DE LAVADO gr : _____
 PORCENTAJE DE ERROR %: _____

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8				10	2	915	9,472	28,934
1 1/2"	36,1				20	0,84			
1"	25,4	1500	15,528	84,472	40	0,42	2090	21,636	7,298
3/4"	19,05	1135	11,749	72,723	60	0,25			
1/2"	12,7				100	0,149			
3/8"	9,52	2255	23,344	49,379	200	0,074	680	7,039	0,259
No 4	4,75	1060	10,973	38,406	PASA 200	****	25	0,259	0,000
SUMA	****	5950	61,594	38,406	SUMA	****	3710	38,406	
					TOTAL		9660	100,000	

D10= _____ $CU=(D60 / D10) =$ _____ GRAVAS _____ %
 D30= _____ $CC=(D30)^2/D10*D60 =$ _____ ARENAS _____ %
 D60= _____ FINOS _____ %



Anexo A.2: Ensayo de porcentaje de caras fracturadas del material de la cantera del Río Chicamocha

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS**

FECHA :
PROYECTO :
LOCALIZACION :
MUESTRA :

TAMAÑO	A	B	C	D	E
	PESO MUESTRA gr	PESO CARAS FRACTURADAS (gr)	% CARAS FRACTURADAS	GRANULOMETRIA GRADACION Orig.	C X D
1 1/2" - 1"	2000	1555	77,75	15,52795031	1207,29814
1" - 3/4"	1500	1070	71,33333333	11,7494824	838,129745
3/4" - 1/2"	1200	820	68,33333333	14,00621118	957,091097
1/2" - 3/8"	300	175	58,33333333	9,33747412	544,68599
SUMA		3620	275,75	50,62111801	3547,20497

% Caras Fracturadas = 70,07361963



Anexo A.3: Ensayo de Sanidad de sulfato de sodio del material de la cantera del Río Chicamocha

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

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS FINES A LA ACCION DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO
 SEGUN NORMA INVIAS F 220**

Nombre: _____
 Fecha: _____
 No. de muestra: _____
 No. de prueba: _____

NO. 1	PROVEEDORA	SITUACION

FORMA	DENSIDAD	MUESTRA ORIGINAL		MUESTRA DESPUES DE LA PRUEBA		PESADO	MUESTRA DESPUES DE LA PRUEBA	MUESTRA ORIGINAL
		PESO (g)	VOLUMEN (cm ³)	PESO (g)	VOLUMEN (cm ³)			
1"	14	37	14.11	37.03	14.11	14	37.03	37.03
3/4"	16	37	14.11	37.03	14.11	14	37.03	37.03
1/2"	28	37	14.11	37.03	37.03	14	37.03	37.03
SUMA		02	37.03	37.03	37.03	14	37.03	37.03

PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDIZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO: 0.7803 %

LABOR CALIFICATIVO	P	Q
FACTORES ANTES DEL ENFO	70	00
FACTORES DE LOS AGREGADOS	75	00
FACTORES DE LOS AGREGADOS	7	0.38
FACTORES DE LOS AGREGADOS	0	0
FACTORES DE LOS AGREGADOS	0	0
FACTORES DE LOS AGREGADOS	0	0
FACTORES DE LOS AGREGADOS	0	0

OBSERVACIONES _____



Anexo A.4: Ensayo de Equivalente de arena del material de la cantera del Río Chicamocha

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
EQUIVALENTE DE ARENA

FECHA: _____
 PROYECTO: _____
 LOCALIZACION: CHICAMOCHA _____
 ENSAYO No: _____

MODO DE PREPARACION MUESTRA: MATERIAL PASA No4 TEMPERATURA: 25 GRADOS	1	2	3
ALTURA DE LA ARCILLA H1	3,3	3,2	3,4
ALTURA DE LA ARENA H2	2,5	2,4	2,5
EQUIVALENTE DE ARENA % (H2/H1)	75,75757576	75	73,52941176
EQUIVALENTE DE ARENA % (H2/H1) Valor Equivalente Redondeado	76	75	74
ESPECIFICACION PARA HORMIGONES	DEBE SER MAYOR DE 75%		

Promedio	Promedio Redondeado
75	75



Anexo A.5: Ensayo de Peso unitario y porcentaje de vacíos de los materiales gruesos y Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos del material de la cantera del Río Chicamocha

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIOS DESUELOS Y PAVIMENTOS**

AGREGADO GRUESO	
SOLICITANTE	FECHA
	D M A
PROCEDENCIA:	MUESTRA #
MATERIAL: DESCRIPCION: NORMA (NTC):	
GRAVEDADES ESPECIFICAS	
DATOS:	
A= peso de la muestra en condicion S.S.S., en el aire.....	5000 Gramos
Pa= peso de la canasta sumergida en el agua.....	1810 Gramos
Pb = peso de la canasta + muestra S.S.S., sumergida en el agua.....	4921 Gramos
B= peso de lamuestra en agua = Pb-Pa.....	3111 Gramos
C= peso delamuestra secada en el horno.....	4670 Gramos
CÁLCULOS:	
Gravedad especifica real.....	$\frac{C}{(C-B)} = 2,9955099$
Gravedad especifica aparente.....	$\frac{C}{(A-B)} = 2,4722075$
Gravedad especifica aparente S.S.S.....	$\frac{A}{(A-B)} = 2,6469031$ (D)**
PESO UNITARIO	
CALIBRADOR DEL MEDIDOR	
P1= Peso del medidor + vidrio.....	3040 Gramos
P2= Peso del medidor + vidrio + agua.....	5870 Gramos
V= Volumen del medidor.....	$\frac{(P2-P1)}{1000} = 2,83$ Gramos
DATOS:	
Pm= Peso del medidor vacio.....	2560 Gramos
Pc= Peso del medidor + material S.S.S compactado.....	7292 Gramos
P _s = Peso del medidor + material S.S.S suelto.....	6726 Gramos
Peso unitario del agregado S.S.S compactado	
Peso unitario del agregado S.S.S compactado.....	$\frac{(Pc-Pm)}{v} = 1672,0848$ $Ka/m^3(E^{**})$
Peso unitaio del agregado S.S.S suelto	
Peso unitaio del agregado S.S.S suelto	$\frac{(Ps-Pm)}{v} = 1472,0848$ Ka/m^3
% de absorción.....	$\frac{(A-C)*100}{C} = 7,0663812$ %
% de vacios.....	$\frac{(D*1000-E)}{(D*10)} = 36,828636$ %
OBSERVACIONES:	
LABORATORISTA	Vo.Bo
JAIRO HERNANDEZ SALAZAR	DIRECTOR ESCUELA ING. CIVIL



Anexo A.6: Ensayo de Peso unitario y porcentaje de vacíos de los materiales finos y Ensayo de peso específico y absorción de agregados finos del material de la cantera del Río Chicamocha

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIOS DESUELOS Y PAVIMENTOS**

AGREGADO GRUESO

SOLICITANTE		FECHA		
		D	M	A
PROCEDENCIA:		MUESTRA #		
MATERIAL:				
DESCRIPCION:				
NORMA (NTC):				
GRAVEDADES ESPECIFICAS				
DATOS:				
A= Peso de la frasco + Agua hasta la marca, en el aire.....	655	Gramos		
B= Peso de la muestra en condicion S:S en el aire.....	500	Gramos		
C= Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire.....	970	Gramos		
D= Peso de la muestra secada al horno.....	493,6	Gramos		
CÁLCULOS:				
Gravedad especifica real.....	$\frac{D}{(A-C+D)}$	=	2,7637178	
Gravedad especifica aparente.....	$\frac{D}{(A+B-C)}$	=	2,6681081	
Gravedad especifica aparente S.S.S.....	$\frac{B}{(A+B-C)}$	=	2,7027027	(E)**
PESO UNITARIO				
CALIBRADOR DEL MEDIDOR				
P1= Peso del medidor + vidrio.....		Gramos		
P2= Peso del medidor + vidrio + agua.....		Gramos		
V= Volumen del medidor.....	$\frac{(P2-P1)}{1000}$	=	2,835	Gramos
DATOS:				
Pm= Peso del medidor vacio.....	2560			
Pc= Peso del medidor + material S.S.S compactado.....	7390			
P _s = Peso del medidor + material S.S.S suelto.....	6728,33			
Peso unitario del agregado S.S.S compactado.....	$\frac{(Pc-Pm)}{V}$	=	1703,7037	Ka/m ³ (F**)
Peso unitario del agregado S.S.S suelto.....	$\frac{(Ps-Pm)}{V}$	=	1470,3104	Ka/m ³
% de absorción.....	$\frac{(B-D)*100}{C}$	=	0,6597938	%
% de vacios.....	$\frac{(E*1000-F)}{(E*10)}$	=	36,962963	%
OBSERVACIONES:				



Anexo A.7: Ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados del material de la cantera del Río Chicamocha

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIOS DESUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO SEGÚN NORMA INVIAS 230

Fecha: _____
 Proyecto: _____
 Localización: _____
 Descripción: _____

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMANO TAMICES		PESO MUESTRA GRAMOS	PESO MATERIAL RETE. EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	% RETENIDO CALIBRADOR * RETENIDO GRAD. ORL
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	1500	359,34	23,956	15,52795031	371,9875776
1"	3/4"	1135	195	17,18061674	11,7494824	201,863354
3/4"	1/2"	700	249,66	35,66571429	14,00621118	499,5415262
1/2"	3/8"	240	75	31,25	9,33747412	291,7960663
SUMA =		3575	879	108,052331	50,62111801	1365,188524

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMANO TAMICES		PESO MUESTRA GRAMOS	PESO MATERIAL PASA. EN EL CALIBRADOR	% PASA EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	% RETENIDO CALIBRADOR * RETENIDO GRAD. ORL
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	1500	295	19,66666667	15,52795031	305,3830228
1"	3/4"	1135	135	11,89427313	11,7494824	139,7515528
3/4"	1/2"	700	135	19,28571429	14,00621118	270,119787
1/2"	3/8"	240	45	18,75	9,33747412	175,0776398
SUMA =		3575	610	69,59665408	50,62111801	890,3320024

Índice de Alargamiento = 26,96875489 %
 Índice de Aplanamiento = 17,58815367 %

observaciones = _____



Anexo A.8: Ensayo de Resistencia al desgaste de los agregados por medio de la máquina de los Ángeles del material de la cantera del Río Chicamocha

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

FECHA: _____
PROYECTO: _____
LOCALIZACION: _____
ENSAYO No: _____

DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES

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

PRUEBAS	1	2	3	4	5
Gradación usada	A				
No de esferas	12				
No de revoluciones	500				
Pa = muestra seca antes del ensayo (Gr)	5000				
Pb = peso muestra seca despues del ensayo y despues de lavar sobre el tamiz No 12 (Gr)	3780				
Perdida de material (Pa - Pb)	1220				
% Desgaste = ((Pa - Pb) / Pa) *100	24,4				
Especificación					

OBSERVACIONES

VoBo

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS

Anexo B.1: GEOMETRÍA DE LAS PROBETAS FABRICADAS EN EL LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Probeta		Geometría		
		Altura (cm)	Altura _{prom} (mm)	Diámetro(cm)
A	1	5,90	60,40	10,560
	2	6,17		10,370
	3	6,06		10,428
	4	6,11	61,40	10,247
	5	6,18		10,323
	6	6,13		10,411
	7	6,02	59,18	10,445
	8	5,82		10,444
	9	5,92		10,428
	10	6,40	61,98	10,215
	11	6,08		10,403
	12	6,11		10,373
B	13	5,98	61,39	10,264
	14	6,08		10,451
	15	6,35		10,441
	16	6,51	71,69	10,368
	17	6,43		10,354
	18	8,57		10,248

Anexo B.2: GRAVEDAD ESPECIFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARAFINADOS (INV E-734)

Probeta	W _{D/C}	W _{parafinado.}	W _{sumergida}	Gravedad Esp. Bulk	Densidad	Densidad _{prom}
A -1	1170,2	1226,1	666,1	2,16	2,16	2,14
A-2	1180,2	1234	672,3	2,17	2,16	
A -3	1173,2	1251,3	660,4	2,08	2,07	
A-4	1173,7	1237,9	670,9	2,15	2,15	2,17
A -5	1199,7	1243,2	689,4	2,22	2,22	
A-6	1183,2	1243,8	668,2	2,13	2,12	
A -7	1187,2	1239,3	679,6	2,19	2,18	2,20
A-8	1157,4	1191,9	667,3	2,26	2,25	
A -9	1145,6	1198,4	652,5	2,17	2,16	
A-10	1178,3	1213,7	661,4	2,18	2,17	2,19
A-11	1218,8	1267,1	691,7	2,18	2,17	
A-12	1168,6	1208,3	666,7	2,21	2,21	
B-13	1159,5	1194,6	661,6	2,22	2,22	2,20
B -14	1157,4	1196,1	656,5	2,20	2,19	
B-15	1127,4	1159	632,3	2,18	2,18	
B-16	1178,4	1213,6	660,1	2,18	2,17	2,17
B-17	1191	1216,6	665,7	2,20	2,19	
B-18	1229,3	1271,9	684,8	2,15	2,14	
	A	D	E			

W_{D/C} = **peso después de compactado**

$$Gravedad\ Especifica\ bulk = \frac{A}{D - E - \left(\frac{D - A}{F}\right)}$$

Donde:

A= masa seca del espécimen en el aire (grs)

D= masa del espécimen seco mas parafina de recubrimiento (grs)

E= masa del espécimen seco mas parafina de recubrimiento en agua (grs)

F= Gravedad Especifica de la parafina a 25°C

$$Densidad = Gravedad\ Especifica\ bulk \times Densidad\ H2O$$

Donde: Densidad H₂O = 0.997 (g/cm³)



Anexo B.3: GRAVEDAD MÁXIMO TEÓRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (INV E-735)

GRAVEDAD MAXIMA MEDIDA PROMEDIO				
Probeta	W muestra	W picnómetro + Agua	W muestra sumergida	Gmm
5,60%	800	1831	2316,4	2,54
5,80%	800	1949	2423,95	2,46
6,00%	800	1949	2422,1	2,45
6,20%	800	1949	2412,8	2,38
5,80%	800	1949	2410,2	2,36
6,00%	800	1949	2405,3	2,33

Anexo B.4: PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DENSAS Y ABIERTAS (INV E-736)

Valores promedio

	Probeta %	Gb	Gmm	% vacios	VAM	VFA
A	5,6	2,14	2,54	15,97	25,3	36,9
	5,8	2,17	2,46	11,86	24,3	51,2
	6,0	2,20	2,45	9,90	23,2	57,4
	6,2	2,19	2,38	7,94	23,9	66,8
B	5,8	2,20	2,36	6,73	23,0	70,7
	6,0	2,17	2,33	6,66	24,2	72,5

VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (Valores promedio)

	Probeta	Gb	% agregado	G agregado	VMA
A	5,60%	2,137	94,4	2,7	25,29
	5,80%	2,169	94,2	2,7	24,32
	6,00%	2,205	94	2,7	23,24
	6,20%	2,191	93,8	2,7	23,89
B	5,80%	2,20	94,4	2,7	23,00
	6,00%	2,17	94,2	2,7	24,20

$$Va = 100 \times \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right) \quad Y \quad VMA = 100 - \left(\frac{Va \cdot Gb}{G \text{ agregado}}\right)$$

Donde:

Va = % vacios de aire en la mezcla compactada teórica

Gmm = Gravedad máxima

Gmb = Gravedad especifica Bulk agregados

G agregado = Gravedad especifica de los agregados

Anexo B.5: MODULO ELASTICO T=7.5 °C

Carga (lb)	Deformación (mm/mm)											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
10.125	0,005	0,004	0,005	0,003	0,007	0,003	0,003	0,005	0,002	0,005	0,003	0,003
20.25	0,011	0,007	0,008	0,006	0,010	0,005	0,005	0,008	0,004	0,008	0,006	0,006
30.375	0,014	0,010	0,011	0,010	0,013	0,009	0,007	0,011	0,006	0,011	0,007	0,007
40.5	0,019	0,012	0,013	0,012	0,015	0,010	0,010	0,014	0,009	0,014	0,010	0,009
50.625	0,022	0,016	0,015	0,014	0,016	0,012	0,013	0,016	0,012	0,017	0,012	0,011
60.75	0,027	0,018	0,017	0,017	0,019	0,014	0,015	0,018	0,014	0,019	0,014	0,011

Valores Promedio

Carga (Lb)	Deformación (mm/mm)			
	B _{prom} 5.6 %	B _{prom} 5.8 %	B _{prom} 6.0 %	B _{prom} 6.2 %
10.125	0,005	0,005	0,004	0,004
20.25	0,008	0,007	0,006	0,007
30.375	0,012	0,010	0,008	0,009
40.5	0,015	0,012	0,011	0,011
50.625	0,018	0,014	0,014	0,013
60.75	0,021	0,017	0,016	0,015

Anexo B.5: MODULO ELASTICO T=7.5 °C

Carga (Lb)	Deformación (mm/mm)						
	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	Mezcla tradicional
10.125	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,0120
20.25	0,005	0,006	0,006	0,006	0,005	0,003	0,0196
30.375	0,007	0,008	0,009	0,008	0,007	0,005	0,0259
40.5	0,009	0,011	0,012	0,010	0,009	0,007	0,0321
50.625	0,012	0,013	0,014	0,011	0,011	0,008	0,0350
60.75	0,015	0,015	0,016	0,013	0,013	0,011	0,0364

Valores Promedio

Carga (Lb)	Deformación (mm/mm)		
	B- prom 5.8 %	B- prom 6.0 %	Mezcla tradicional
10.125	0,003	0,002	0,0120
20.25	0,006	0,005	0,0196
30.375	0,008	0,006	0,0259
40.5	0,01	0,009	0,0321
50.625	0,013	0,01	0,0350
60.75	0,015	0,012	0,0364

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

TIEMPO (min)	LECTURAS DEL DEFORMIMETRO (mm/mm)															Mezcla tradicional				
	B																			
	A																			
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,17	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,00125	0,0014	0,0012	0,0054	0,0053	0,0055	0,0042	
0,33	0,003	0,002	0,004	0,003	0,001	0,003	0,005	0,006	0,004	0,003	0,004	0,004	0,0024	0,0023	0,0025	0,0068	0,0067	0,0068	0,0051	
0,5	0,004	0,003	0,004	0,005	0,001	0,004	0,005	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005	0,0031	0,0030	0,0032	0,0075	0,0074	0,0075	0,0064	
0,667	0,004	0,004	0,005	0,007	0,001	0,004	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0041	0,0040	0,0041	0,0080	0,0079	0,0080	0,0082	
0,833	0,004	0,004	0,006	0,007	0,001	0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	0,005	0,006	0,0048	0,0047	0,0048	0,0085	0,0084	0,0085	0,0095	
1	0,004	0,005	0,008	0,008	0,001	0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	0,006	0,007	0,0055	0,0054	0,0055	0,0088	0,0087	0,0088	0,0097	
1,25	0,004	0,006	0,009	0,008	0,001	0,006	0,005	0,007	0,006	0,006	0,007	0,007	0,0062	0,0061	0,0062	0,0090	0,0090	0,0091	0,0106	
1,5	0,004	0,006	0,010	0,009	0,001	0,006	0,005	0,007	0,006	0,007	0,008	0,008	0,0068	0,0067	0,0068	0,0093	0,0092	0,0093	0,0111	
1,75	0,004	0,006	0,011	0,009	0,001	0,006	0,005	0,007	0,006	0,008	0,009	0,009	0,0075	0,0074	0,0076	0,0100	0,0099	0,0101	0,0127	
2	0,004	0,007	0,012	0,010	0,001	0,006	0,006	0,007	0,006	0,009	0,010	0,011	0,0083	0,0082	0,0083	0,0108	0,0107	0,0108	0,0133	

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

TIEMPO (min)	LECTURAS DEL DEFORMIMETRO (mm/mm)											Mezcla tradicional							
	A												B						
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	
4	0,005	0,007	0,012	0,011	0,002	0,007	0,007	0,008	0,007	0,01	0,010	0,011	0,0086	0,0085	0,0086	0,0111	0,0110	0,0112	0,0138
6	0,005	0,007	0,013	0,011	0,002	0,007	0,008	0,008	0,008	0,011	0,011	0,012	0,0093	0,0092	0,0094	0,0115	0,0114	0,0116	0,0144
8	0,005	0,007	0,013	0,013	0,003	0,008	0,008	0,009	0,008	0,011	0,012	0,012	0,0099	0,0098	0,0100	0,0120	0,0119	0,0121	0,0150
10	0,005	0,007	0,013	0,013	0,004	0,008	0,009	0,009	0,008	0,012	0,012	0,013	0,0103	0,0102	0,0104	0,0122	0,0121	0,0122	0,0151
12	0,005	0,007	0,014	0,014	0,004	0,009	0,009	0,009	0,008	0,012	0,012	0,013	0,0108	0,0107	0,0108	0,0124	0,0123	0,0125	0,0156
14	0,005	0,007	0,014	0,015	0,005	0,009	0,009	0,009	0,009	0,012	0,013	0,013	0,0113	0,0112	0,0114	0,0127	0,0126	0,0128	0,0155
16	0,005	0,008	0,014	0,015	0,005	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,013	0,013	0,0116	0,0115	0,0117	0,0129	0,0128	0,0129	0,0160
18	0,005	0,008	0,014	0,016	0,005	0,009	0,011	0,010	0,009	0,013	0,013	0,014	0,0118	0,0117	0,0119	0,0130	0,0129	0,0130	0,0160
20	0,005	0,008	0,014	0,016	0,005	0,009	0,011	0,010	0,01	0,013	0,013	0,014	0,0120	0,0119	0,0120	0,0132	0,0131	0,0133	0,0162
22	0,005	0,008	0,014	0,016	0,005	0,010	0,011	0,010	0,01	0,013	0,013	0,014	0,0122	0,0121	0,0122	0,0133	0,0132	0,0133	0,0162

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

TIEMPO (min)	LECTURAS DEL DEFORMIMETRO (mm/mm)																		
	A											B							
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	Mezcla tradicional
24	0,005	0,008	0,014	0,016	0,005	0,010	0,012	0,011	0,01	0,013	0,014	0,014	0,0123	0,0122	0,0124	0,0135	0,0134	0,0136	0,0167
26	0,005	0,008	0,015	0,017	0,005	0,010	0,013	0,011	0,011	0,014	0,014	0,014	0,0127	0,0126	0,0128	0,0136	0,0135	0,0137	0,0168
28	0,005	0,008	0,015	0,018	0,006	0,010	0,013	0,011	0,011	0,014	0,014	0,014	0,0129	0,0128	0,0129	0,0137	0,0136	0,0138	0,0168
30	0,005	0,008	0,015	0,019	0,006	0,010	0,013	0,011	0,011	0,014	0,014	0,015	0,0130	0,0130	0,0131	0,0138	0,0137	0,0139	0,0168
32	0,005	0,008	0,015	0,019	0,006	0,011	0,013	0,011	0,011	0,014	0,015	0,015	0,0130	0,0130	0,0131	0,0140	0,0139	0,0141	0,0168
34	0,005	0,008	0,015	0,019	0,006	0,011	0,014	0,012	0,012	0,014	0,015	0,015	0,0131	0,0130	0,0132	0,0140	0,0139	0,0141	0,0168
36	0,005	0,008	0,015	0,020	0,006	0,011	0,014	0,012	0,012	0,014	0,015	0,015	0,0132	0,0131	0,0133	0,0142	0,0141	0,0142	0,0171
38	0,006	0,008	0,016	0,020	0,006	0,011	0,014	0,012	0,012	0,014	0,015	0,015	0,0133	0,0132	0,0133	0,0143	0,0142	0,0143	0,0169
40	0,006	0,008	0,016	0,020	0,006	0,011	0,014	0,012	0,012	0,015	0,015	0,016	0,0133	0,0132	0,0133	0,0144	0,0143	0,0144	0,0169
42	0,006	0,008	0,016	0,020	0,006	0,011	0,015	0,012	0,013	0,015	0,015	0,016	0,0133	0,0132	0,0133	0,0145	0,0144	0,0145	0,0170

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

TIEMPO (min)	A											B							
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	Mezcla tradicional
44	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,015	0,012	0,013	0,015	0,015	0,016	0,0134	0,0133	0,0134	0,0146	0,0145	0,0146	0,0172
46	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,015	0,013	0,013	0,015	0,015	0,016	0,0134	0,0133	0,0134	0,0146	0,0145	0,0147	0,0172
48	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,015	0,013	0,013	0,015	0,015	0,016	0,0134	0,0133	0,0134	0,0146	0,0145	0,0147	0,0172
50	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,013	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0135	0,0147	0,0146	0,0148	0,0172
52	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,014	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0135	0,0147	0,0146	0,0148	0,0172
54	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,014	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0135	0,0147	0,0146	0,0148	0,0172
56	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,015	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0135	0,0147	0,0146	0,0148	0,0172
58	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,015	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0135	0,0147	0,0146	0,0148	0,0172
60	0,006	0,008	0,016	0,021	0,006	0,011	0,016	0,013	0,015	0,016	0,016	0,016	0,0134	0,0133	0,0134	0,0146	0,0145	0,0146	0,0172

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

DEFORMACION PROMEDIO (mm/mm)

TIEMPO _(min)	A- 5.6 %	A-5.8 %	A-6.0 %	A-6.2 %	B-5.8 %	B-6.0 %	Mezcla tradicional
0	0	0	0	0	0	0	0
0,17	0,001	0,002	0,004	0,003	0,0013	0,0054	0,0042
0,33	0,003	0,002	0,005	0,004	0,0024	0,0068	0,0051
0,5	0,004	0,003	0,005	0,004	0,0031	0,0075	0,0064
0,667	0,004	0,004	0,005	0,005	0,0041	0,0080	0,0082
0,833	0,005	0,004	0,006	0,005	0,0048	0,0085	0,0095
1	0,006	0,005	0,006	0,006	0,0055	0,0088	0,0097
1,25	0,006	0,005	0,006	0,007	0,0062	0,0091	0,0106
1,5	0,007	0,005	0,006	0,008	0,0068	0,0093	0,0111
1,75	0,007	0,005	0,006	0,009	0,0075	0,0100	0,0127
2	0,008	0,006	0,007	0,010	0,0083	0,0108	0,0133
4	0,008	0,007	0,007	0,010	0,0086	0,0111	0,0138
6	0,008	0,007	0,008	0,011	0,0093	0,0115	0,0144
8	0,008	0,008	0,008	0,012	0,0099	0,0120	0,0150
10	0,008	0,008	0,009	0,012	0,0103	0,0122	0,0151
12	0,009	0,009	0,009	0,012	0,0108	0,0124	0,0156
14	0,009	0,010	0,009	0,013	0,0113	0,0127	0,0155
16	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0116	0,0129	0,0160
18	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0118	0,0130	0,0160
20	0,009	0,010	0,010	0,013	0,0120	0,0132	0,0162
22	0,009	0,010	0,011	0,013	0,0122	0,0133	0,0162

Anexo B.6: CREEP SIN CONFINAR (CARGA ESTÁTICA T =60°C)

DEFORMACION PROMEDIO (mm/mm)

TIEMPO (min)	A- 5.6 %	A-5.8 %	A-6.0 %	A-6.2 %	B-5.8 %	B-6.0 %	Mezcla tradicional
24	0,009	0,010	0,011	0,014	0,0123	0,0135	0,0167
26	0,009	0,011	0,011	0,014	0,0127	0,0136	0,0168
28	0,009	0,011	0,011	0,014	0,0129	0,0137	0,0168
30	0,009	0,012	0,012	0,014	0,0131	0,0138	0,0168
32	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0131	0,0140	0,0168
34	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0131	0,0140	0,0168
36	0,010	0,012	0,012	0,015	0,0132	0,0142	0,0171
38	0,010	0,012	0,013	0,015	0,0133	0,0143	0,0169
40	0,010	0,012	0,013	0,015	0,0133	0,0144	0,0169
42	0,010	0,013	0,013	0,015	0,0133	0,0145	0,0170
44	0,010	0,013	0,013	0,015	0,0134	0,0145	0,0172
46	0,010	0,013	0,014	0,015	0,0134	0,0146	0,0172
48	0,010	0,013	0,014	0,015	0,0134	0,0146	0,0172
50	0,010	0,013	0,014	0,016	0,0134	0,0146	0,0172
52	0,010	0,013	0,014	0,016	0,0134	0,0147	0,0172
54	0,010	0,013	0,014	0,016	0,0134	0,0147	0,0172
56	0,010	0,013	0,015	0,016	0,0134	0,0147	0,0172
58	0,010	0,013	0,015	0,016	0,0134	0,0147	0,0172
60	0,010	0,013	0,015	0,016	0,0134	0,0147	0,0172

Anexo B.7: ESTABILIDA Y FLUJO (INV. 748)

probeta	Estabilidad (lb)	Estabilidad prom	flujo	flujo prom (mm)
1	2683,13	2683,125	6,07	6,10
2	2673,00		6,12	
3	2693,25		6,10	
4	3007,13	3017,25	6,58	6,60
5	3017,25		6,58	
6	3027,38		6,63	
7	2895,75	2885,625	7,01	6,99
8	2875,50		6,99	
9	2885,63		6,96	
10	2521,13	2531,25	6,86	6,83
11	2541,38		6,83	
12	2531,25		6,81	
13	3189,38	3179,25	7,32	7,37
14	3179,25		7,37	
15	3169,13		7,42	
16	2875,50	2865,4	6,81	6,8
17	2865,38		6,76	
18	2855,25		6,81	

Probeta prom	Asfalto (%)	ESTABILIDAD (lb)			Flujo mm
		Estabilidad Promedio	Estabilidad corr	Factor ⁹	
1,2,3	5,6	2683,1	2924,6	1,09	6,1
4,5,6	5,8	3017,3	3195,3	1,059	6,6
7,8,9	6	2885,6	3255,0	1,128	6,99
10,11,12	6,2	2531,3	2632,6	1,04	6,83
13,14,15	5,8	3179,3	3366,9	1,059	7,37
16,17,18	6	2865,4	2372,6	0,828	6,79

⁹ Norma nacional de invias E-748 ,tabla 1:Factor de corrección para la estabilidad