

**MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCTO DE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS EN
MEZCLAS DE ALTO MÓDULO Y MEZCLAS TIBIAS.**

JOHN ALEXANDER SUÁREZ ROBLES

MIGUEL ANDRES SANTOS VARGAS

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

2009

**MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCTO DE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS EN
MEZCLAS DE ALTO MÓDULO Y MEZCLAS TIBIAS.**

JOHN ALEXANDER SUÁREZ ROBLES

MIGUEL ANDRES SANTOS VARGAS

Tesis de grado modalidad investigación

Para optar el título de:

Ingeniero Civil

Director:

EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

Ingeniero Civil, M. Sc. , Ph D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS**

BUCARAMANGA

2009

DEDICATORIA

A Dios por darme el don de la vida y bendecirme a través de mi carrera universitaria para llevar a buen término mi trabajo de grado.

A mis padres Tobías Suárez y María Genny Robles por su apoyo incondicional en mis estudios, por su amor, comprensión y ánimo en los momentos donde más los necesitaba.

A mis hermanos Claudia, Rubén y Milena por ayudarme en las diferentes etapas de mi vida y poder alcanzar mis metas y sueños.

A mis amigos de la Legio Mariae y JLJ CDLM por compartir buenos momentos en mi vida.

A mi compañero de proyecto Miguel por formar buen equipo de trabajo y sortear grandes dificultades en nuestro proyecto.

A mis compañeros de carrera Mayra Vega, John Jairo Suárez, Eder Silva, Jesús Areniz, Jorge Serrano, Astrid Quintero, entre otros, en la cual se compartieron ideas e instantes importantes de la vida universitaria.

JOHN ALEXANDER SUÁREZ ROBLES

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ing. Eduardo Castañeda Pinzón, por su dirección y asesorías durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

Nuestras familias y amigos, por su apoyo moral para sacar adelante nuestra tesis de grado.

Ingeniero Gonzalo León, quien muy cordialmente nos obsequió la zeolita necesaria y primordial para nuestra investigación.

Ingeniera Adriana Méndez, quien nos facilitó la asfaltita necesaria para nuestra investigación.

Nuestro compañero Guillermo Albarracín, quien muy amable nos obsequió los agregados para nuestra investigación.

Laboratoristas Jairo, Jaime y Germán Hernández, por su colaboración en el préstamo de los espacios e implementos para desarrollar nuestra tesis.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. EL ASFALTO	3
1.1.1. Composición del asfalto	3
1.1.1.1. Propiedades	3
1.1.1.2. Propiedades Físicas	3
1.1.1.3. Propiedades químicas	3
1.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS	4
1.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas	5
1.2.1.1. Por Fracciones de agregado pétreo empleado.	5
1.2.1.2. Por la Temperatura de puesta en obra.	5
1.2.1.3. Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.	6
1.2.1.4. Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.	6
1.3. ASFALTITAS (ASFALTOS NATURALES)	6
1.3.1. Yacimiento de Asfaltitas en Santander	7
1.3.2. Características Físicas de las Asfaltitas	8
1.4. ASFALTO DE REFINERÍA UTILIZADO	9
1.5. MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS	11
1.5.1. Mezclas Asfálticas Tibias	12
1.5.1.1. La zeolita	12
1.5.1.2. Mezcla asfáltica tibia Aspha-Min ® de Eurovia	13
1.5.2. Mezclas asfálticas de alto módulo	15
2.0. COMBINACIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO MÓDULO Y MEZCLAS TIBIAS	19
2.1. PROCESO INVESTIGATIVO	19
2.2. MATERIALES EMPLEADOS	19
2.2.1. Agregado mineral	19
2.2.2. Tamaño Máximo Nominal	19
2.2.3. Ensayos Realizados	20
2.3. DISEÑO DEL LIGANTE	20
2.3.1. Asfalto de refinería	20

2.3.2.	Asfalto Natural (Asfaltita)	21
2.3.3.	Elección del porcentaje optimo de asfaltita	21
2.3.3.1.	Penetración	22
2.3.3.2.	Ductilidad	22
2.3.3.3.	Punto de ablandamiento	23
2.3.4.	Combinación de asfalto 60/70 con 20% de asfaltita	23
2.3.4.1.	Dilución de la asfaltita	23
2.3.4.2.	Combinación de asfalto y asfaltita	24
2.3.5.	Pruebas efectuadas al ligante	24
2.3.5.1.	Ensayo de penetración (INV E-706-07)	24
2.3.5.2.	Prueba de ductilidad (INV E-702-07.)	25
2.3.5.3.	Punto de ablandamiento (INV E-712-07)	25
2.4.	DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	26
2.4.1.	Granulometría EME para mezclas asfálticas de alto modulo	26
2.4.2.	Granulometría utilizada	26
2.4.3.	Metodología usada en la fabricación de las probetas	27
2.4.3.1.	Número de probetas fabricadas	27
2.4.3.2.	Temperatura de mezcla y compactación:	27
2.4.3.3.	Compactación de las Probetas:	28
2.5.	PRUEBAS EFECTUADAS A LAS PROBETAS	29
2.5.1.	Gravedad Específica Bulk y Densidad de Mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados I.N.V. E – 734 – 07.	29
2.5.2.	Gravedad Especifica Máxima Teórica (Gmm) y Densidad de mezclas asfálticas para pavimentos I.N.V. E – 735 – 07.	30
2.5.3.	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas INV E-736-07.	31
2.5.4.	Módulo Elástico bajo carga monotónica (7.5 °C)	31
2.5.5.	CREEP sin confinar (carga estática - 60°C)	32
2.5.6.	Estabilidad y Flujo INV. E – 748 – 07	33
3.0.	RESULTADOS OBTENIDOS	35
3.1.	DISEÑO DEL LIGANTE	35
3.1.1.	Penetración	35
3.1.2.	Ductilidad	35
3.1.3.	Punto de ablandamiento	35

3.2.	FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	36
3.2.1.	Observaciones durante el mezclado a las diferentes temperaturas	36
3.2.1.1.	Mezclado a 170 °C:.....	37
3.2.1.2.	Mezclado a 150 °C.....	37
3.2.1.3.	Mezclado a 130 °C.....	37
3.3.	CARACTERIZACION DE LAS PROBETAS	38
3.3.1.	Geometría de las probetas	38
3.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ESPECÍMENES PARAFINADOS.....	39
3.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS.....	39
3.6.	PORCENTAJE DE VACIOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS Y ABIERTAS.....	40
3.7.	MÓDULO ELÁSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	40
	Grafica 3.1. Esfuerzo vs Deformación Módulo elástico	41
3.8.	CARGA ESTÁTICA SIN CONFINAR A 60 °C (CREEP).....	42
3.9.	ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO	44
4.0.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1.	DISEÑO DEL LIGANTE	45
4.2.	GRANULOMETRÍA.....	45
4.3.	FABRICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	45
4.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ESPECÍMENES PARAFINADOS.....	45
4.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS.....	46
4.6.	MODULO ELÁSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	46
4.7.	CARGA ESTÁTICA SIN CONFINAR A 60 °C (CREEP).....	46
4.8.	ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO	46
5.0.	CONCLUSIONES.....	47
6.0.	RECOMENDACIONES	48
7.0.	BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.4. Temperatura de fabricación y extendido.....	14
Tabla 1.5. Efecto en las propiedades del aglomerado.....	14
Tabla 1.6. Emisiones de mezcla asfáltica caliente y mezcla asfáltica semi-caliente.	14
Tabla 1.7. Ligantes para mezclas de alto modulo.....	16
Tabla 1.8. Ensayo Marshall para una mezcla de alto modulo.....	17
Tabla 1.9. Espesores de mezclas asfálticas de alto modulo.....	18
Tabla 2.1. Pruebas realizadas al asfalto 60/70.....	20
Tabla 2.2. Porcentajes de asfalto y asfaltita ensayados	22
Tabla 2.3. Resultados ductilidad asfaltos duros.....	22
Tabla 2.4. Resultados Punto de ablandamiento asfaltos duros	23
Tabla 2.5. Curva Granulometría para mezclas EME y tamaño máximo 0/20 a 0/14 ...	26
Tabla 2.6. Dosificación para las probetas Marshall.....	26
Tabla 3.1. Respectives temperaturas trabajadas.....	36
Tabla 3.2. Características geométricas de las Probetas.....	38
Tabla 3.3. Valores Promedio de la Gravedad específica Bulk y la Densidad de Mezclas Asfálticas.....	39
Tabla 3.4. Valores promedio de gravedad máxima teórica.....	39
Tabla 3.5. Porcentaje de vacios promedio en la mezcla.....	40
Tabla 3.6. Módulo elástico bajo carga estática constante a 7.5°C.....	41
Tabla 3.7. Valores del módulo de Elasticidad.....	41
Tabla 3.8. Valores promedio de deformaciones bajo carga constante de 10.125 lb.....	42
Tabla 3.9. Valores promedio de estabilidad Marshall y Flujo.....	44

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.0. Afloramiento de asfaltita vereda “La tigre”.....	7
Fotografía 1.1. Zeolita utilizada.....	12
Fotografía 2.1. Asfaltita sin pulverizar.....	21
Fotografía 2.2. Asfaltita pulverizada.....	21
Fotografía 2.3. Asfaltita fluida.....	23
Fotografía 2.4. Combinación de asfalto con 20% de asfaltita.....	24
Fotografía 2.5. Esquema del ensayo de penetración.....	24
Fotografía 2.6. Esquema Prueba de ductilidad.....	25
Fotografía 2.7. Esquema ensayo índice de ablandamiento.....	25
Fotografía 2.8. Esquema Fabricación de probetas.....	28
Fotografía 2.9. Esquema procedimiento seguido Gravedad específica Bulk.....	29
Fotografía 2.10. Esquema procedimiento seguido Gravedad específica máxima Gmm.....	30
Fotografía 2.11. Esquema procedimiento seguido Carga monotónica.....	32
Fotografía 2.12. Esquema procedimiento CREEP.....	33
Fotografía 2.2. Esquema procedimiento seguido CREEP.....	34

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	50
ANEXO B. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS.....	59

RESUMEN

TÍTULO

MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCTO DE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS EN MEZCLAS DE ALTO MÓDULO Y MEZCLAS TIBIAS.

AUTORES

SUÁREZ ROBLES John Alexander
SANTOS VARGAS Miguel Andrés

PALABRAS CLAVES

Asfaltita
Zeolita
Asfalto duro
Mezcla asfáltica de alto módulo
Mezcla asfáltica tibia

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo de grado consiste en realizar un mezcla asfáltica usando una técnica para generar un asfalto duro con características de un asfalto (20/30), utilizando una porción óptima de un 20% en peso de asfaltita agregada al asfalto, ligante que se utiliza para mezclas asfálticas de alto modulo, la cual se preparó o combinó con otra técnica de fabricación en mezcla tibia, añadiendo a la sustancia bituminosa una porción óptima de zeolita para poder realizar el proceso de mezclado homogéneamente, adicionando un 50% en peso de los finos con zeolita, con el fin de reducir el impacto ambiental en la generación de humos y gases nocivos y un mejoramiento en el comportamiento mecánico de la mezcla elaborada. Además de disminuir la temperatura y una mejor manejabilidad de la mezcla a una temperatura intermedia.

Se elaboraron 18 probetas con tres diferentes temperaturas (120, 140, 160 °C), utilizando la granulometría de una mezcla asfáltica, de módulo alto (EME) a las cuales se les realizaron diferentes ensayos de laboratorio estandarizados por norma INVIAS COLOMBIA para pavimentos, a excepción de modulo elástico bajo carga monotónica y CREEP sin confinar bajo una carga constante, los cuales fueron idealizados para efectos de la investigación, obteniendo unos resultados que se encuentran en el presente libro.

ABSTRACT

TITLE

ASPHALT MIXTURES PRODUCT OF THE COMBINATION OF TECHNIQUES IN MIXTURES OF HIGH MODULE AND TIBIAL MIXTURES

AUTHORS

SUAREZ ROBLES, JOHN ALEXANDER
SANTOS VARGAS, MIGUEL ANDRES

KEYWORDS

Asphaltites
Zeolite
Hard Asphalt
Asphalt mixtures of high module
Asphalt tibial mixtures

DESCRIPTION

The present graduate work is to make an asphalt mixture using a technique to generate a hard asphalt with asphalt characteristics (20/30), using an optimal portion of 20%, of asphaltite added to asphalt binder that is used for high modulus asphalt mixtures, which was prepared or combined with other fabrication techniques in tibial mixture, adding to the bituminous substance an optimal portion of zeolite in order to make the mixing homogeneously, adding 50% of weight of fines with zeolite, in order to reduce the environmental impact on the generation of smoke and noxious gases and improvement in the mechanical behavior of the mixture prepared. Besides lower temperature and better handling of the mixture at an intermediate temperature.

18 specimens were prepared with three different temperatures (120, 140, 160 ° C) using the particle size of a high modulus asphalt mixture (EME) to which different laboratory tests were performed by standard INVIAS standard for floors,

With the exception of elastic modulus under monotonic load and CREEP without confining under constant load, which were idealized for purposes of the investigation, obtaining results found in this book.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se viene presentando una búsqueda del mejoramiento en el desarrollo de obras civiles y la optimización de los recursos empleados, en cuanto a calidad, precio y afección del medio ambiente, lo cual viene generando alternativas técnicas y ambientales en la preparación, fabricación y obtención de los materiales utilizados en las plantas de producción.

En la producción de pavimentos se requiere un gran consumo de energía para su preparación, puesto que se debe llevar a temperaturas elevadas para que el proceso de mezclado sea óptimo y estas altas temperaturas conllevan a que se produzcan una gran emisión de gases perjudiciales para el medio ambiente y para las personas que están en la planta en contacto con dichos gases.

En el desarrollo de esta investigación se quiere generar una propuesta ambiental para preparar asfaltos duros, en la que se utilizó materiales de la región como la asfaltita, que hace que el ligante utilizado comúnmente (60/70), tenga las propiedades de un asfalto (20/30), al adicionarle un 20% en peso de asfaltita y así generar un asfalto duro. La propuesta ambiental es la preparación de dicha mezcla a menor temperatura, generando un mejoramiento en el impacto ambiental que se produce al preparar mezclas asfálticas, sin provocar un cambio drástico en las propiedades y en el comportamiento mecánico de la mezcla elaborada. Para la posible preparación de esta mezcla asfáltica de alto módulo mediante una mezcla asfáltica tibia, se utilizó un material llamado zeolita que permite un mejor mezclado de los agregados con el ligante a menor temperatura, adicionándola en una porción equivalente al 50% en peso de los finos a la sustancia bituminosa, disminuyendo su viscosidad y facilitando su manejabilidad en la mezcla.

En este proyecto se llevó a cabo la preparación de una mezcla de alto módulo a tres diferentes temperaturas, (120, 140 y 160 °C), las cuales se analizaron en cuanto a su preparación y proceso de mezclado observando las variaciones de la adherencia del ligante con los agregados, se caracterizaron y se sometieron a diferentes pruebas analizando su comportamiento antes las diferentes cargas aplicadas.

En el primer capítulo se describe los materiales utilizados para llevar a cabo este proyecto, en cuanto a sus características y su procedencia, también se hace una explicación de las técnicas de fabricación de mezclas asfálticas.

En el segundo capítulo se explica la nueva técnica de fabricación de asfaltos de alto módulo, los ensayos realizados al ligante, su comportamiento a comparación de un asfalto (20/30) y su utilización en la fabricación de probetas, se indica la granulometría utilizada, y la forma de utilización de la zeolita para preparar una mezcla tibia.

En el tercer capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados a las probetas para observar su comportamiento de las diferentes temperaturas de fabricación, en el cuarto capítulo se realizó el análisis de resultados obtenidos en los ensayos, en el quinto capítulo se hacen ciertas recomendaciones para mejorar esta investigación y en el sexto capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de la observación del proyecto.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EL ASFALTO

El asfalto es un material ligante de color marrón oscuro a negro, es altamente impermeable, adherente y cohesivo, constituido por betunes que pueden ser naturales u obtenidos mediante la refinación del petróleo. El asfalto es capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes y es usado como aglomerante en mezclas asfálticas.

1.1.1. Composición del asfalto

Los asfaltos son materiales aglomerantes de color oscuro, constituidos por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles y de elevado peso molecular.

1.1.1.1. Propiedades

1.1.1.2. Propiedades Físicas

El asfalto es capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado.

Las propiedades de mayor importancia en el asfalto son: durabilidad, adhesión y cohesión, susceptibilidad térmica, envejecimiento y endurecimiento.

1.1.1.3. Propiedades químicas

El asfalto presenta propiedades químicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

El asfalto es una mezcla químicamente compleja constituida por hidrocarburos alifáticos y aromáticos pesados. Los asfaltos no dan mucha información sobre su naturaleza química, los asfaltos generalmente se identifican de acuerdo a la solubilidad frente a diferentes solventes.

Para ello se separan de acuerdo con el método SARA en cuatro fracciones a su vez químicamente complejas, que se diferencian por su solubilidad:

Estas fracciones son:

- Hidrocarburos saturados
- Hidrocarburos aromáticos
- Resinas
- Asfáltenos

1.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, una mezcla asfáltica es producto de una combinación de materiales como lo son los agregados pétreos de diferentes tamaños con una emulsión asfáltica o asfalto que funciona como ligante.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de capas de rodadura o en capas inferiores y su objeto transmitir las cargas a las capas inferiores, soportar las acciones de los neumáticos, también proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación. Por ende las mezclas asfálticas deben estar diseñadas para soportar cargas, abrasión, altas y bajas temperaturas, deformación, etc.

El tamaño y proporción de los agregados, el porcentaje de asfalto y la temperatura de compactación afectan directamente las propiedades físicas y el comportamiento de dicha mezcla. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo minera y otro 5% de ligante asfáltico. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

La resistencia o la carga que resistirá la carpeta asfáltica determinaran el espesor que se irá a emplear en una vía de comunicación.

Se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- Resistencia al deslizamiento.

- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad.

1.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

1.2.1.1. Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

1.2.1.2. Por la Temperatura de puesta en obra.

Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Mezclas asfálticas tibias: las temperaturas a la cual se fabrica la mezcla está en el rango de (120 – 140 °C), para las que se necesita un aditivo que permita disminuir la viscosidad del bitumen a menor temperatura para que al momento de realizar la mezcla este envuelva los agregados en forma completa.

Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

1.2.1.3. Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20 %.

1.2.1.4. Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas Finas: También llamadas micro-aglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

1.3. ASFALTITAS (ASFALTOS NATURALES)

Las asfaltitas son componentes sólidos del petróleo y formados por hidrocarburos de cadenas largas, sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y estructura conoidal en las formas frescas, 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.

Los tipos de asfaltitas que se pueden encontrar son los siguientes

- Gilsonita
- Grahamita
- Glance pitch

Gilsonita: Es uno de los bitúmenes naturales más puros que se conocen y se distingue fácilmente de las demás asfaltitas por su color pardo, su peso específico más bajo, su contenido fijo de carbono y poco azufre. Las calidades comerciales son; selecto, segundo

(corriente) y azabache. Se distinguen por el punto de reblandecimiento y el comportamiento en los solventes derivados de petróleo.

Grahamita: La grahamita se diferencia de la gilsonita y pez lustrosa en su contenido mas alto de carbono fijo y en que se hincha pero no se funde, cuando se calienta. Su coloración es más negra que la gilsonita y la pez lustrosa.

Glance pitch: Una sustancia bituminosa oscuro en los bancos naturales y como residuo de la destilación del petróleo; compuesta principalmente de hidrocarburos.

1.3.1. Yacimiento de Asfaltitas en Santander

En el departamento de Santander en el municipio el Playón, más exactamente en la vereda “La Tigra “, se pueden encontrar en dos formas asfaltita, semifluida y solida.

Para la realización de este proyecto se utilizó asfaltitas con alto contenido de bitumen y en forma solida, la cual posteriormente fue triturada.

Las asfaltitas con alto contenido de bitumen o asfaltitas duras se consideran así pues su contenido de bitumen supera el 80%.

Fotografía 1.0. Afloramiento de asfaltita vereda “La tigra”



(Fuente: Trabajo de grado asfaltos duros)

1.3.2. Características Físicas de las Asfaltitas

Las características se encuentran reunidas en la Tabla 1.0:

Tabla 1.0. Características Físicas de las Asfaltitas

Propiedades	Norma A.S.T.M	Unidades	Gilsonita	Grahamita	Glance Pitch
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 especifica 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

(Caracterización hecha en la libro de grado Asfaltos duros)

En el yacimiento del departamento de Santander se encuentra un tipo de asfaltita muy parecida a la Gilsonita, es un bitumen de gran pureza, el cual tiene una característica muy fácil de identificar que es su peso específico bajo.

Para la realización de este proyecto fue utilizada la asfaltita de la vereda la tigre de la cual presenta las siguientes características:

Tabla 1.1. Características físicas de la Asfaltita solida de la vereda 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

(Caracterización hecha en la libro de grado Asfaltos duros)

1.4. ASFALTO DE REFINERÍA UTILIZADO

El asfalto utilizado en la realización de este proyecto fue el asfalto de grado 60/70, del cual en la siguiente tabla observaremos los valores de las características físicas de dicho asfalto.

Tabla 1.2. Valores estándar de asfalto 60/70

Asfalto 60/70	Resultados
Gravedad especifica a 25 °C	0.996
Penetración a 25 °C	64
Ductilidad 25 °C	>110
Punto de ablandamiento	50

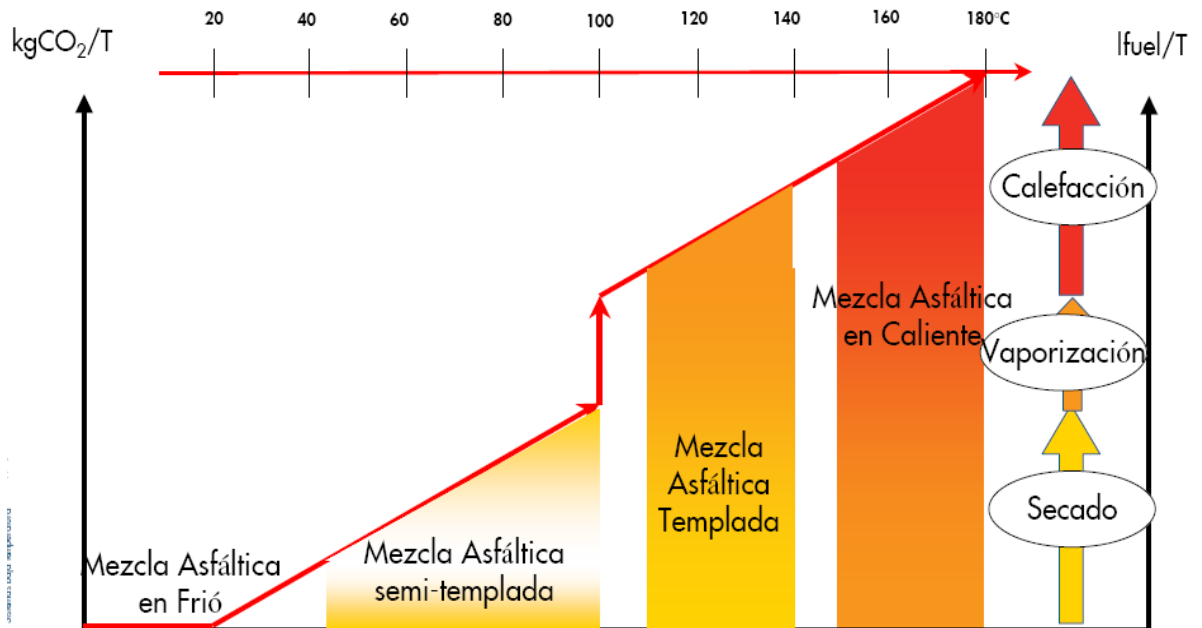
Tabla 1.3. Norma estándar de bitumen en Francia NF en 12591

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: <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de masa, (%) • incremento del punto de ablandamiento °C • punto de ablandamiento después (°C) • Penetración residual, (%) 	NF en 12607-1	≤0.8	≤0.5	≤0.5	≤0.5
		≤ 9	≤ 9	≤ 8	≤ 8
		≥45	≥48	≥52	≥57
		≥ 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 C₂C₁₄ (%)	NF en 12592	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99
Contenido de parafina	NF en 12606-2	≤ 4.5	≤ 4.5	≤ 4.5	≤ 4.5

(Tabla tomada de la norma francesa para asfaltos)

1.5. MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

Figura 1.0. Tipos de mezclas según temperatura y emisión de CO₂



(Fuente: Shell Bitumen – Conferencia Argentina 2008)

Una mezcla asfáltica tibia es un intermedio entre la mezcla Semi-caliente y las mezcla templada, refiriéndonos a temperatura, la cual en la preparación de probetas de asfalto es un parámetro muy influyente en algunos aspectos como pueden ser; la fluidez de la emulsión asfáltica que funciona como ligante de los agregados, el consumo de energía es mayor a mayor la temperatura de preparación de la mezcla, por lo cual aumenta el consumo de energía que se necesita para producirlo.

Al reducir la temperatura de mezclado tiene influencias ambientales que se pueden observar en la emisión de gases y olores ¹que se asocian con la mezcla caliente los cuales son NO₂, SO₂ y CO₂ procedentes del betún, los se verán reducidos al preparar un pavimento mediante una mezcla tibia.

La preparación de una mezcla tibia comparada con una mezcla caliente no tiene alguna diferencia notable en cuanto a comportamiento puesto que; se preparan bajo las misma normatividad y especificaciones técnicas y también tienen la misma resistencia y calidad.

¹ <http://www.cpasfalto.org/35reunion/Miercoles-12-11-08/CONFERENCIA-C-Soluciones-a-mas-bajas-temperaturas-para-mezclas-asfalticas.pdf>

Lo que se puede observar es favorabilidad a las mezclas tibias en cuanto a las mezclas calientes las cuales son:

- La mezcla puede ser transportada mayores distancias.
- Ahorro de energía en la preparación y el mezclado.
- Menor oxidación el asfalto
- Facilita la extensión y compactación
- Pronta apertura del tráfico después de la compactación
- Disminución de gases de efecto invernadero, humo y olores

1.5.1. Mezclas Asfálticas Tibias

La técnica utilizada para la realización de una mezcla asfáltica tibia es la patentada por Aspha-Min® de Eurovia, la cual para obtener unos resultados óptimos, se debe recurrir a la utilización de un aditivo el cual es un aluminosilicato sintético (Zeolita), la cual tiene una red de espacio de vacíos al ser agregada el betún se espuma incrementando su volumen, logrando el objetivo de que el asfalto envuelva completamente el agregado durante la etapa de mezclado, en una mezcla tibia se debe utilizar un aditivo que permita realizar y compactar la mezcla adecuadamente.

1.5.1.1. La zeolita

Fotografía 1.1. Zeolita utilizada



Fuente: Archivos personales John Suárez y Miguel Santos

Las zeolitas² son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, presentes en forma natural en rocas de origen volcánico que contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y cuarzo (SiO_2), al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa.

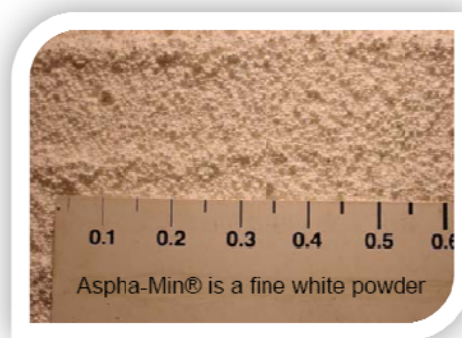
Algunas características representativas de las Zeolitas:

- Alto grado de hidratación.
- Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.
- La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
- Las propiedades de intercambio del catión.
- Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
- Por su habilidad de absorber gases y vapores.
- Por sus propiedades catalíticas.

1.5.1.2. Mezcla asfáltica tibia Aspha-Min® de Eurovia

Esta tecnología se basa en la adición de 0,3% de la masa de la mezcla, de una zeolita sintética en forma de polvo, al mismo tiempo en que el asfalto se vierte en el mezclador. Esta zeolita al calentarse, libera agua de hidratación la cual hace que el asfalto se espume, permitiendo la reducción de la temperatura de fabricación. Este procedimiento puede ser empleado con todo tipo de asfaltos ya sean convencionales o modificados, así como en el reciclado de mezclas.

Zeolita Sintética



(Fuente: warm mix asphalt technology - Matthew Corrigan)

² <http://www.aspha-min.de/aspha-min.html>

Tabla 1.4. Temperatura de fabricación y extendido.

Temperatura de fabricación y extendido			
T° de las mezclas	Sin zeolita	Con zeolita	variación
En los camiones	159°C	131°C	-28°C
En la extendedora	157°C	130°C	-27°C

(Comunicación libre: mezclas semi-calientes con Aspha-min® . ecología en acción)

Tabla 1.5. Efecto en las propiedades del aglomerado.

Efecto en las propiedades del aglomerado				
Especificación	Sin zeolita	Con Zeolita	Variación	
% huecos	4 ≤ v ≤ 8	6,5	7,3	+0,8
Textura (mm)	≥ 0,8	0,98	1,03	+0,05

(Comunicación libre: mezclas semicalientes con Aspha-min® . ecología en acción)

Al igual que en las demás mezclas a menor temperatura de la usual, esta tecnología también presenta gran cantidad de beneficios ambientales y de consumo de combustible. Produce un ahorro de 20% en la cantidad de combustible consumido por la planta, se producen reducciones de un 18% a 23% en las emisiones de COV, COV, SO₂, NO₂, CO₂.

Tabla 1.6. Emisiones de mezcla asfáltica caliente y mezcla asfáltica semi-caliente.

Emisiones de las mezclas en calientes (mg/m³)			
170°C sin zeolita		140 con zeolita Aspha-Min	
Aerosoles	Aerosoles + vapor	Aerosoles	Aerosoles + vapor
< 0,8	0,8-2,7	< 0,36	0,36-0,6

(Comunicación libre: mezclas semicalientes con Aspha-min® . ecología en acción)

Con los resultados realizados por Aspha-Min® de Eurovía queda demostrado que la fabricación de mezclas asfálticas a menor temperatura con lleva a beneficios ambientales muy notorios en el mismo instante de la preparación³.

³ <http://www.aspha-min.de/aspha-min.html>

1.5.2. Mezclas asfálticas de alto módulo

Las mezclas asfálticas de alto módulo son aquellas que tienen una rigidez significativa con respecto a las mezclas asfálticas en que se utiliza ligantes convencionales. Su proceso de elaboración es en caliente, citando específicamente las mezclas de alto módulo para capas de base, se fabrican con asfaltos muy duros, Se utiliza una mezcla con granulometría semi-gruesa, con contenidos asfálticos cercanos al 6% de materiales pétreos.

El desarrollo de las mezclas asfálticas de alto módulo se originó en Francia, en 1980 se desarrollaron mezclas asfálticas (Enrobe a Module Eleve EME). Existen tres tipos de EME los cuales se diferencian en el tamaño máximo del material árido (EME 0/10; 0/14; 0/20), en los que se emplean betunes duros por lo general con un valor de penetración menor a 25 1/10 mm, que son propiedades características de un asfalto 10/20.

Las mezclas con gran capacidad de soporte empezaron a conceptualizarse en la época de los 70, sin embargo en 1980 en Francia se introdujo la técnica de utilizar betunes puros para fabricación de mezclas de alto módulo, pero su utilización fue normalizada en Francia en la NFP 98 140 de octubre del 1985. 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

La utilización de mezclas asfálticas de alto módulo trae grandes ventajas en cuanto a las características que estas presentan, buen comportamiento al resistir grandes cargas, buena resistencia a la fatiga y una notable reducción en el espesor comparado con las mezclas tradicionales esta reducción puede ser hasta de un 20%.

El ligante para mezclas de alto módulo:

El aglutinante que se utiliza con mayor frecuencia en un asfalto puro listo, más raramente un betún modificado o betún especial, tal como se define en la norma NF EN 12591, desarrollada por las compañías petroleras y las empresas de transporte. Debe ser utilizado menudo el asfalto 10/20, 15/25 o 20/30, es decir, con una penetración a 25 ° C; se encuentra en el intervalo de 10 a 30 (1 / 100 mm) y con el ensayo de anillo y bola la temperatura esté cerca de 65 ° C o más.

Tabla 1.7. Ligantes para mezclas de alto modulo

CARACTERISTICA	UNIDAD	NORMA NLT	B 10/20		BM-1		RIGIPLAST
			Min	Max	Min	Max	Valores característicos
BETÚN ORIGINAL							
PENETRACIÓN (25°C; 100 g. 5s)	0,1 mm	124	10	20	15	30	18
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO (A y B)	°C	125	60	74	70		70
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS	°C	182		-1		-4	-5
DUCTILIDAD a 25°C (5 cm/min)	cm	126	20				5*
FLOTADOR (60°C)	s	183	-	-	3.000		-
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO:							
Diferencia Punto Reblandecimiento	°C	125	-	-		5	
Diferencia Penetración (25°C)	0,1 mm	124	-	-		5	
RECUPERACIÓN ELÁSTICA (25°C; torsión)	%	329	-	-	5		13
CONTENIDO EN AGUA (en volumen)	%	123		0,2		0,2	-
PUNTO DE INFLAMACIÓN v/a	°C	127	235		235		
DENSIDAD RELATIVA (25°C/25°C)	g/cm ³	122	1,0		1,0		
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA							
VARIACIÓN DE MASA	%	185		0,5		0,8	0,2
PENETRACIÓN (25°C; 100g; 5s)	%p.o.	124	65		70		78
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	°C	125		6	-4	+8	+6
DUCTIBILIDAD (25°C; 5 cm/min)	cm	126	10				

(Fuente: Probisa publicación circulación libre)

Las curvas granulométricas empleadas en Francia para mezclas de alto módulo son cerradas del tipo semi-grueso 0/10 y 0/14 o grava-betún 0120 con un contenido de polvo mineral comprendido entre el 8 y 10%.

Las proporciones de áridos habitualmente empleados son las siguientes:

Árido grueso (> 2,5 mm)..... 50-60%

Árido fino (< 2,5 mm)..... 42-30%

Polvo mineral (< 0,08 mm)..... 8-10%

En la norma francesa NF B 98-140 se recogen dos tipos de mezclas de alto módulo (EME 1 y EME 2) estimándose el contenido mínimo de betún en función de la fórmula de Duriez con valores del módulo de riqueza de > 2,5 para el primer tipo y > 3,5 para el segundo, si bien estos resultados se complementan con el ensayo de Duriez, Pista de Laboratorio (Orniérage) y máquina giratoria (PCG).

Los contenidos de betún habitualmente empleados están comprendidos entre 4 y 4,7% para las mezclas de alto módulo tipo EME-1 y entre 5,5 y 7% para las tipo EME-2, con lo que se obtienen porcentajes de huecos en mezcla menores de 10 y 16%, respectivamente⁴.

⁴ <http://www.probisa.es/Publicaciones/showfile.aspx?id=924>

Las mezclas tipo EME-1, por ser de menor resistencia a la fatiga, solo son recomendables sobre soportes rígidos poco deformables. El estudio y dosificación de una mezcla de alto módulo puede realizarse con los métodos convencionales recogidos en la normativa española para mezclas bituminosas en caliente. El contenido óptimo de betún puede estimarse a partir del ensayo Marshall, y con este contenido de betún puede valorarse la pérdida de cohesión por la acción del agua mediante el ensayo de inmersión-compresión y la resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de Pista de Laboratorio.

A título de ejemplo, a continuación en la tabla 2 se exponen los resultados obtenidos con el ensayo Marshall de una mezcla de alto módulo tipo EME-2 fabricada con áridos de machaqueo procedentes de las graveras del Jarama y un betún B 10/20, que ha sido extendida por PROBISA como refuerzo, con un espesor de 9 cm, en la carretera M-602 en Vicálvaro (Madrid)⁵.

Tabla 1.8. Ensayo Marshall para una mezcla de alto modulo

ENSAYO MARSHALL										
Áridos: sílico-calcareos procedentes de Graveras El Puente										
Granulometría:	Tamiz UNE	20	12,5	10	5	2,5	0,63	0,32	0,16	0,08
	%PASA	100	85	81	62	41	23	18	14	9,9
Betún: B 10/20										
Temperatura de mezcla = 170°C										
Temperatura de compactación = 160°C										
					<u>Contenido de ligante, % s/a</u>					
					4	5	6	7		
Estabilidad, kgf					1640	1780	1560	1325		
Deformación, mm					1,6	1,8	2,3	3,2		
Densidad relativa					2,289	2,340	2,367	2,373		
Huecos en mezcla, %					8,9	5,6	3,3	1,8		
Huecos en áridos, %					17,5	16,5	16,5	17,1		

(Fuente: Probisa publicación circulación libre)

La fabricación de las mezclas bituminosas de alto módulo se realiza con plantas asfálticas habituales para aglomerado en caliente, bien sea en las centrales clásicas discontinuas o bien en las continuas de tambor secador-mezclador teniéndose que emplear temperaturas algo más elevadas como consecuencia de la mayor viscosidad del ligante.

El transporte desde la central de fabricación al extendido debe realizarse en camiones calorifugados o cubiertos con lonas para evitar el enfriamiento de la mezcla. La compactación se realiza con maquinaria convencional con compactadores de rodillos vibratorios y neumáticos y los espesores de mezcla son función del tamaño máximo del árido utilizado.

⁵ <http://www.probisa.es/Publicaciones/showfile.aspx?id=924>

En la siguiente tabla se indican los espesores medios y las temperaturas recomendadas para la fabricación y puesta en obra de estas mezclas.

Tabla 1.9. Espesores de mezclas asfálticas de alto modulo

<u>MAM</u>	<u>Espesor mínimo, cm</u>	<u>Espesor medio, cm</u>
0/10	5	6-10
0/14	6	7-12
0/20	8	10-15

(Fuente: Probisa publicación circulación libre)

Tabla 1.9. Espesores de mezclas asfálticas de alto modulo

Tabla 5. Temperaturas de fabricación y puesta en obra

Temperatura de almacenamiento °C.....	140
Temperatura del betún para la envuelta, °C.....	165-175
Temperatura de mezcla	
Plantas clásicas °C.....	160-180
Plantas TSM, °C.....	160-170
Temperatura de compactación, °C.....	150-170
Temperatura mínima de compactación, °C.....	140

(Fuente: Probisa publicación circulación libre)

Las mezclas de alto módulo, por su elevada rigidez y buena resistencia a la fatiga, constituyen una nueva generación de mezclas que pueden emplearse en capas de base para sustituir a los materiales convencionales (gravas-cemento zahorras artificiales y mezclas bituminosas). Además de la reducción de espesores y ahorro económico, las mezclas de alto módulo presentan otra serie de ventajas adicionales como ausencia de fisuraciones por retracciones térmicas, gran impermeabilidad, uniformidad de capas y por consiguiente utilización de la misma maquinaria, así como posibilidad de reciclarlas.

Las mezclas de alto módulo se pueden dosificar mediante el método Marshall, y evaluar, con el óptimo de betún determinado, la pérdida de cohesión por la acción del agua y la resistencia a las deformaciones plásticas⁶.

⁶ <http://www.probisa.es/Publicaciones/showfile.aspx?id=924>

2.0. COMBINACIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO MÓDULO Y MEZCLAS TIBIAS

2.1. PROCESO INVESTIGATIVO

El proceso investigativo fue realizado siguiendo evolución de varias etapas en la realización del proceso investigativo las cuales son:

- PRIMERA ETAPA “Selección y estudio de información”

Inicialmente se revisara toda la bibliografía referente a los temas en investigación, con el fin de profundizar, ampliar nuestros conocimientos y tener un buen enfoque de la investigación.

- SEGUNDA ETAPA “Recolección de material”

Posteriormente al estudio de la información, establecemos y adquirimos las cantidades y variedades de materiales a utilizar, con respecto a los tipos de ensayos que se planteen.

- TERCERA ETAPA “Ensayos de laboratorio”

Se realizaran los diseños de las mezclas, la fabricación de las probetas con los materiales recolectados y se finaliza con diversos ensayos de laboratorio que incluyen medidas de: rigidez, deformabilidad, volúmenes de componentes, estabilidad y flujo.

- CUARTA ETAPA “Resultados y conclusiones”

Con base en los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se plantearan conclusiones producto del análisis de los datos obtenidos en laboratorio.

2.2. MATERIALES EMPLEADOS

2.2.1. Agregado mineral

El agregado utilizado para la realización de la investigación fue obtenido de la planta de asfaltos (ASFALTAR), cuya procedencia es del rio chicamocha, del sector el pescadero en departamento de Santander.

2.2.2. 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 módulo alto (EME) y gradación densa es 3/8”.

2.2.3. Ensayos Realizados

El agregado mineral proveniente del río Chicamocha, presenta una caracterización efectuada 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 fueron:

- 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)

2.3. DISEÑO DEL LIGANTE

2.3.1. Asfalto de refinería

El asfalto utilizado para la realización de esta investigación fue un asfalto 60/70 proveniente de CORASFALTOS, a este asfalto no se le realizó ninguna prueba, ya que a dicho asfalto se le realizaron pruebas en la tesis "Asfaltos de alto módulo", en la que se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 2.1. Pruebas realizadas al asfalto 60/70

PROPIEDAD	VALOR OBTENIDO
Penetración a 25°C 100 gr, 5 segundos	66
Ductilidad 25°C	102
Punto de ablandamiento	50

2.3.2. Asfalto Natural (Asfaltita)

La asfaltita utilizada fue traída del afloramiento en la vereda la tigre en el municipio de el playón, para la realización de este proyecto la asfaltita utilizada fue la misma extraída por el grupo de estudiantes que realizaron la investigación en mezclas asfálticas de alto módulo. La asfaltita fue traída en forma de roca, la cual fue después triturada en la máquina de los ángeles, como observaremos en las siguientes imágenes.

Fotografía 2.1. Asfaltita sin pulverizar



Fotografía 2.2. Asfaltita pulverizada



(Fuente: Archivos personales John Suárez y Miguel Santos)

Para la pulverización de la asfaltita, fue empleada la máquina de los ángeles y la de bola hasta obtener un tamaño de 150 μ m de tal forma que pase por el tamiz 100, para mejorar su fluidez a temperaturas más bajas, proporcionando una mejor homogenización y así evitar temperaturas elevadas que puedan alterar las propiedades originales.

2.3.3. Elección del porcentaje óptimo de asfaltita

Para la fabricación de un mezcla de modulo alto se necesita un asfalto 20/30 según la norma francesa, para este estudio se le adicionara un porcentaje de asfaltita al asfalto 60/70, hasta obtener características semejantes al asfalto 20/30, en cuanto a penetración, ductilidad y punto de ablandamiento.

Observando los resultados obtenidos en el trabajo de grado Mezclas Asfálticas de Alto Módulo, la cual de un minucioso estudio realizado a los diferentes porcentajes de asfaltita agregado al asfalto 60/70.

2.3.3.1. Penetración

Tabla 2.2. Porcentajes de asfalto y 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

(Caracterización realizada por el libro de grado asfaltos duros)

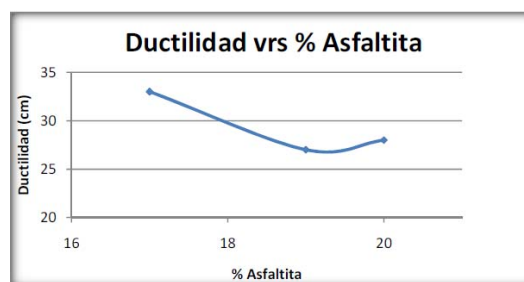
Como podemos observar el porcentaje de asfaltita que obtiene un valor de penetración entre 20 y 30, es agregando un 20% de asfaltita.

2.3.3.2. Ductilidad

Tabla 2.3. Resultados ductilidad asfaltos duros

% Asfaltita	Ductilidad (Cm)
17	33
19	27
20	28

Grafica 2.1. Variación de la ductilidad



(Caracterización realizada por el libro de grado asfaltos duros)

2.3.3.3. Punto de ablandamiento

Tabla 2.4. Resultados Punto de ablandamiento asfaltos duros

% Asfaltita	T(°C)
19	56
20	58

(Caracterización realizada por el libro de grado asfaltos duros)

En conclusión se observó que el porcentaje de asfaltita que al mezclarse con el asfalto 60/70, presenta propiedades muy similares al asfalto 20/30 es 20% de asfaltita que se le agrega en forma diluida al asfalto 60/70.

2.3.4. Combinación de asfalto 60/70 con 20% de asfaltita

2.3.4.1. Dilución de la asfaltita

El proceso de dilución de la asfaltita se llevo a cabo depositando la asfaltita pulverizada en un recipiente y sometiéndola a una temperatura suficiente hasta que esta alcance un estado fluido, para que el proceso de mezclado con el asfalto sea homogéneo; la temperatura a la que fue sometida fue una temperatura aproximada de 200°C.

Fotografía 2.3. Asfaltita Fluida



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.3.4.2. Combinación de asfalto y asfaltita

Puesto que la temperatura en que el asfalto alcanza su punto fusión es menor a la de la asfaltita de deben diluir por separado, hasta que los dos componentes estén en forma fluida para luego adicionar un 20% en peso de asfaltita al asfalto 60/70.

Se debe garantizar que la dilución sea total, ya que se puede dar el caso en que el asfalto envuelve la asfaltita formado brumos evitando que la mezcla sea homogénea produciendo un cambio en las propiedades del ligante a utilizar.

Fotografía 2.4. Combinación de asfalto con 20% de asfaltita



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.3.5. Pruebas efectuadas al ligante

2.3.5.1. Ensayo de penetración (INV E-706-07)

Fotografía 2.5. Esquema del ensayo de penetración



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.3.5.2. Prueba de ductilidad (INV E-702-07.)

Fotografía 2.6. Esquema Prueba ductilidad



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.3.5.3. Punto de ablandamiento (INV E-712-07)

Fotografía 2.7. Esquema ensayo índice de ablandamiento



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.4. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

2.4.1. Granulometría EME para mezclas asfálticas de alto módulo

La granulometría escogida para esta investigación fue utilizada (De acuerdo con el Trabajo de grado: “mezclas asfálticas de alto modulo”. Autor: Adriana Méndez y Yudith Maritza Núñez. UIS. 2008), el cual es referente a la granulometría de una mezcla densa EME. Los tamices utilizados fueron los más cercanos para cumplir con las dimensiones exigidas en el tamaño de grano 0/14 y 0/20.

Tabla 2.5. 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

2.4.2. Granulometría utilizada

Al observar los resultados obtenidos en el diseño de la mezcla asfáltica de alto módulo en el cual llegaron a una conclusión de un porcentaje óptimo de asfalto combinado con asfaltita, este es de un 5,8% en peso del total del material utilizado (1200 gr). Para el desarrollo de la investigación la cual combina mezclas asfálticas de alto módulo y mezclas tibia, las especificaciones de granulometría para las mezclas tibias se indican que se debe reemplazar por zeolita el 50% en peso de los finos utilizados en la mezcla de una probeta, agregando a la mezcla total un 3,35% de zeolita. Se llego a la siguiente granulometría según la tabla de dosificación, que cumple estas condiciones anteriormente mencionadas.

Tabla 2.6. Dosificación para las probetas Marshall.

% asfalto aplicado a la mezcla			5,80%
tamiz	% pasa	% Retenido	peso material (g)
1/4 "	53	47	531,29
# 5	47	6	67,82
# 10	33	14	158,26
# 200	6,7	26,3	297,30
Fino		6,7	37,87
Zeolita			37,87
Asfalto con asfaltita			69,6
Total			1200,00

2.4.3. Metodología usada en la fabricación de las probetas

Para la fabricación de las probetas se utilizó la metodología de la norma “Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall” (INV E – 748 – 07), con un peso total de la mezcla aproximadamente de 1200 g de ingredientes. Este procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101 mm de diámetro y 63.5 mm de altura.

2.4.3.1. Número de probetas fabricadas

Para la mezcla densa (EME) se trabajó con una sola granulometría, elaborando probetas con el 5,8% de asfalto como la forma óptima. En total fueron fabricadas 18 probetas a las cuáles se le realizaron los respectivos ensayos.

2.4.3.2. Temperatura de mezcla y compactación:

Las temperaturas de las probetas fueron:

- 6 probetas con una mezcla asfáltica a 120°C, reemplazando el 50% de fino (Pasa 200), por zeolita.
- 6 probetas con una mezcla asfáltica a 140°C, reemplazando el 50% de fino (Pasa 200), por zeolita
- 6 probetas con una mezcla asfáltica a 160°C, reemplazando el 50% de fino (Pasa 200), por zeolita

La compactación de las probetas se realizó con una temperatura superior de 10°C en cada tipo de mezcla, con el fin de obtener la temperatura establecida, ya que pierde temperatura mientras se realiza la respectiva compactación.

2.4.3.3. Compactación de las Probetas:

La compactación de las probetas se realizó con un martillo de acero que posee una base circular de 11.75 cm y un pistón de 10 Lb de peso, inicialmente se pone a calentar los moldes en un horno cercana a la temperatura de mezcla, después se coloca unas hoja de papel en el fondo del molde antes de colocar la mezcla con el fin de que no se pegue en los alrededores, luego se vierte la mezcla en el molde, se le aplica una carga de 75 golpes con el martillo Marshall por una 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 inclinaciones en la probeta. Se retira la placa de base, y se coloca en el extremo opuesto del molde; se vuelve a montar éste en la plataforma, se coloca unas hojas de papel en la parte superior y se aplica los 75 golpes a la cara invertida de la muestra.

Después de la compactación, se retira la base y se deja enfriar la muestra 24 horas; luego se saca cuidadosamente la probeta del molde mediante un gato hidráulico, se marca, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana.

Fotografía 2.8. Esquema Fabricación de probetas



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.5. PRUEBAS EFECTUADAS A LAS PROBETAS

Las pruebas realizadas a las 18 probetas fabricadas son los ensayos normalizados por Invías Colombia a excepción de los ensayos Deformación ante una carga constante a 60°C (CREEP) y modulo elástico bajo carga monotónica a (7.5°C), estas fueron idealizadas para el proceso investigativo.

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

Esta prueba consiste en la relación entre el peso en el aire y su volumen (incluyendo los vacíos permeables); cuyo valor se utiliza para calcular el porcentaje de vacíos de aire como se indica en las normas INV E – 736 y la densidad de mezclas asfálticas compactadas.

Procedimiento seguido:

- Se pesó las probetas sin parafina.
- Se recubren las probetas con una capa de parafina lo suficientemente gruesa para impermeabilizarla.
- Se dejan enfriar y endurecer la parafina durante 30 minutos
- Se pesan las probetas con la parafina
- Se coloca un recipiente con agua, donde se sumergen y se pesan las probetas sumergidas en el agua.

Fotografía 2.9. Esquema procedimiento Seguido Gravedad especifica Bulk



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

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

Para esta prueba se prepararon 3 mezclas asfálticas de 1200 gr sin compactar a diferentes temperaturas 120, 140 y 160 °C respectivamente, cuyo objeto es conocer la gravedad específica y el porcentaje de vacíos.

La gravedad específica es la relación entre una masa dada de material a 25 °C y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

La densidad es la masa de un volumen de un metro cúbico de material a 25 °C.

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

Este procedimiento nos permite determinar la gravedad específica máxima teórica y densidad de mezclas asfálticas en caliente para pavimentos a 25 °C, sin compactar.

Procedimiento seguido fue:

De cada mezcla asfáltica preparada se toman (800 gr), para su respectivo análisis individual, se toman los respectivos pesos: peso del erlenmeyer, peso del erlenmeyer con la muestra, y por último se pesa el erlenmeyer, la muestra con el agua. Se le aplica el vacío con la bomba para hallar la gravedad máxima medida, una vez terminado se pesa todo el recipiente después de aplicado el vacío.

Este procedimiento se le realizo a las tres muestras de cada temperatura.

Fotografía 2.10. Esquema procedimiento seguido Gravedad especifica máxima (Gmm)



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

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

Para realizar el análisis de los vacíos y la gravedad específica efectiva de cada mezcla y su respectiva temperatura se calculan con respecto a los siguientes valores. Se utiliza la gravedad específica y efectiva 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 (V_a); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

2.5.4. Módulo Elástico bajo carga monotónica (7.5 °C)

El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro importante en el estudio que se realizó a las mezclas asfálticas preparadas con el procedimiento descrito anteriormente en la fabricación y granulometría de las probetas. El módulo elástico lo tuvimos en cuenta, debido a que caracteriza el comportamiento de un material elástico el cual tiene la característica de sufrir deformaciones reversibles estando sometido a la acción de fuerzas externas, recobrando la forma original si estas fuerzas externas se terminan. El módulo de elasticidad y el límite elástico son una constante elástica que se pueden determinar empíricamente.

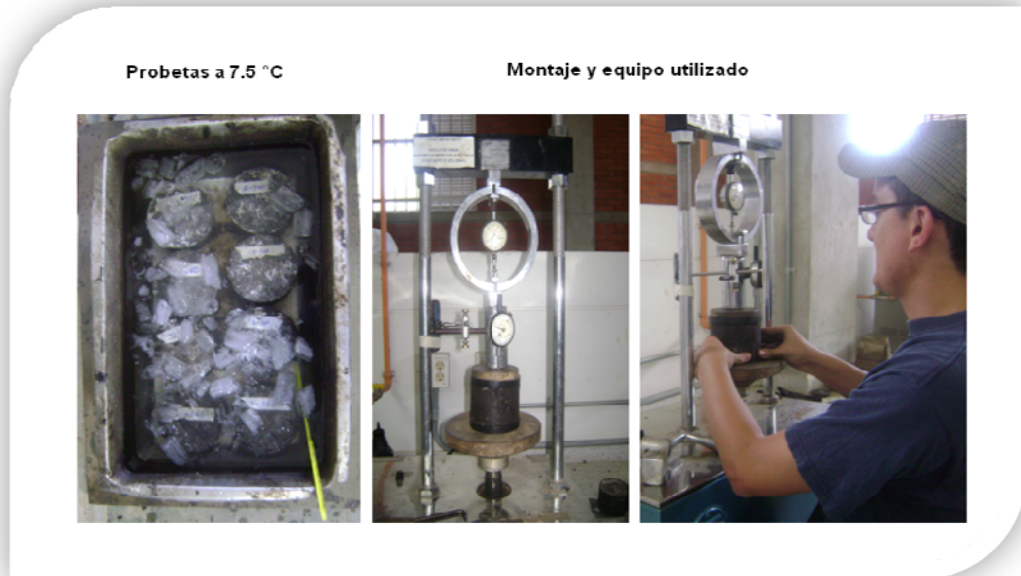
$$E = \sigma / \varepsilon$$

Mediante esta ecuación se puede representar la porción inicial recta del diagrama esfuerzo-deformación hasta el límite proporcional. Donde la pendiente de esta línea representa, el módulo de elasticidad.

Para la prueba del módulo elástico bajo carga monotónica se depositaron todas las probetas en agua a una temperatura de 7.5 °C en un recipiente amplio por un periodo de tiempo de 30 minutos.

Posteriormente se les aplicó carga ascendente en la máquina de Marshall de 577 lb tomando las respectivas deformaciones de cada probeta.

Fotografía 2.11. Esquema procedimiento seguido Carga monotónica



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.5.5. CREEP sin confinar (carga estática - 60°C)

Las mezclas preparadas están compuestas de materiales visco-elásticos como lo es el asfalto y el comportamiento de dicha mezcla en funcionamiento depende de la variación de la temperatura y de las cargas aplicadas.

Este ensayo permite analizar la deformación específica permanente en función del tiempo bajo una carga vertical constante aplicada sobre una probeta tipo Marshall. Las probetas sometidas a compresión vertical con carga estática sin confinamiento lateral, con carga 100.125 Lb y temperatura 60°C.

El Procedimiento seguido fue:

1. Calentar agua hasta una temperatura de 60 ° C
2. Sumergir las probetas en el agua durante 30 minutos
3. Se sacan uno a uno las probetas 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 2.12. Esquema procedimiento CREEP



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

2.5.6. Estabilidad y Flujo INV. E – 748 – 07

La norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia de la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall.

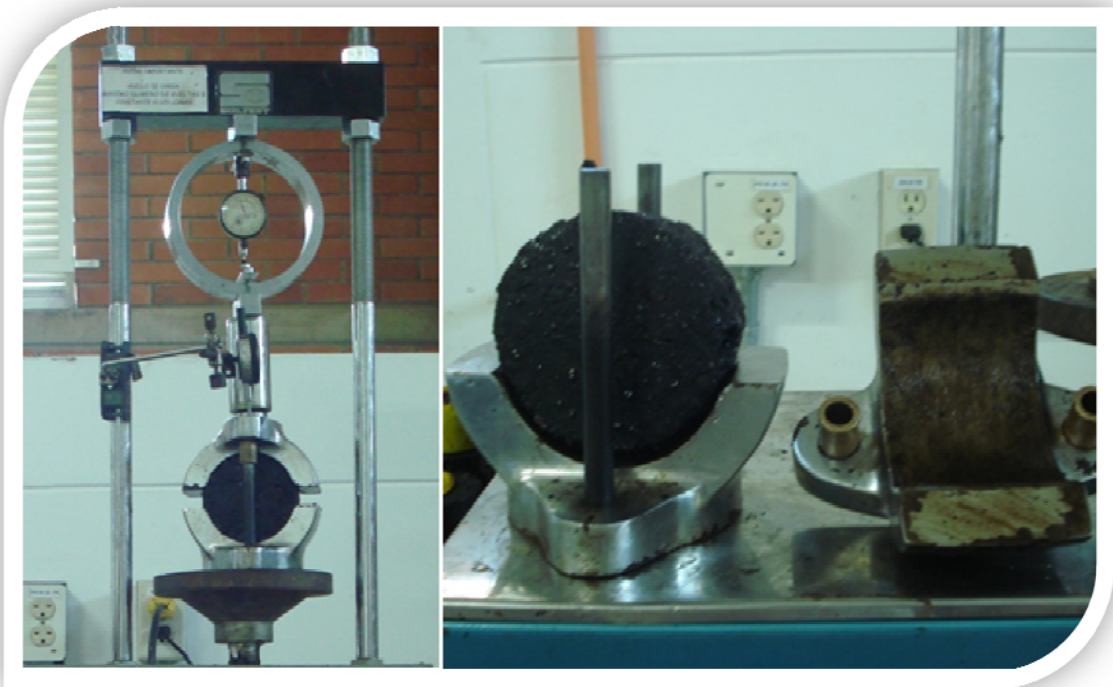
El procedimiento seguido fue:

1. Se ubicaron las probetas en un baño de agua en un recipiente amplio durante 40 minutos
2. Se engrasaron las barras guías y las superficies interiores de las mordazas.
3. Después se retiraron las probetas del baño de agua, se procedió a instalarlas en una forma centrada en la mordaza inferior; se montaron en la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se situó en una forma centrada en el aparato Marshall .Se instaló el medidor de flujo en la posición más adecuada, se

ajustaron en cero los medidores, y se mantuvo el vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplicó la carga.

4. Una vez se le aplicó la carga sobre la probeta con el aparato Marshall a una tasa de deformación constante, hasta que sucedió la falla, esto es cuando se logra la carga máxima que puede resistir la probeta, luego de disminuir la deformación, según se lea en el medidor de carga.
5. Se procede a anotar el valor máximo de carga registrado en el aparato Marshall. 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 anotó la lectura del medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima y este será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en mm, esto nos indica la disminución del diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura.

Fotografía 2.13. Esquema procedimiento seguido CREEP



(Fuente: archivos personales John Suárez Y Miguel Santos)

3.0. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. DISEÑO DEL LIGANTE

3.1.1. Penetración

Fue realizado bajo las siguientes condiciones:

- A una temperatura de 25°C
- Con una carga de 100 gr,
- Durante 5 segundos

Resultado obtenido para el ligante Asfalto 60/70 + 20% de asfaltita

Resultado obtenido **27 decimas de milímetro**

3.1.2. Ductilidad

Asfalto 60/70 + 20% asfaltita **48 cm**

3.1.3. Punto de ablandamiento

Asfalto 60/70 + 20% asfaltita **56 °C**

3.2. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas se fabricaron a diferentes temperaturas observando diferentes resultados en cuanto a mezclado y compactación.

Tabla 3.1. Respectivas temperaturas trabajadas

Temperatura Mezclado	Temperatura Compactación
130	120
150	140
170	160

3.2.1. Observaciones durante el mezclado a las diferentes temperaturas

Una característica importante de la zeolita en el proceso de mezclado, es cuando se combina con el bitumen, hace que éste se espume incrementando su volumen y su viscosidad disminuye, para que así pueda envolver los agregados totalmente, consiguiendo realizar mezclas a menor temperatura. Esta forma de adicionar la zeolita es característica de la preparación de mezclas asfálticas tibias.

Espumado del asfalto



(Fuente: Archivos personales John Suárez y Miguel Santos)

3.2.1.1. Mezclado a 170 °C:



- La mezcla se realizó a 160 °C
- Se observó una notable emisión de gases
- La granulometría queda bien envuelta por el ligante

3.2.1.2. Mezclado a 150 °C



- La mezcla se realizó a 140 °C
- Se observó una considerable emisión de gases, aunque más reducida
- La granulometría quedó bien envuelta por el ligante

3.2.1.3. Mezclado a 130 °C



- La mezcla se realizó a 120 °C
- Se observó una notable reducción en la emisión de gases
- La granulometría aparentemente quedó bien envuelta
- El color de la mezcla tiende a ser café.

3.3. CARACTERIZACION DE LAS PROBETAS

3.3.1. Geometría de las probetas

Las características geométricas de las probetas incluyen diámetro y altura cuya medición se realizó con un calibrador.

Tabla 3.2. Características geométricas de las Probetas

Probeta	Temperatura	Geometría		
		Altura (cm)	Altura _{prom} (cm)	Diámetro(cm)
1	120 °C	6,3	6,4	10,4
2		6,4		10,2
3		6,5		10,2
4		6,4		10,2
5		6,4		10,4
6		6,4		10,3
1	140 °C	6,5	6,38	10,2
2		6,3		10,35
3		6,3		10,25
4		6,4		10,2
5		6,5		10,2
6		6,3		10,2
1	160 °C	6,2	6,4	10,45
2		6,3		10,4
3		6,4		10,2
4		6,5		10,2
5		6,5		10,3
6		6,5		10,2

- Total de probetas fabricadas 18
- Se fabricó 6 probetas por cada temperatura

3.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ESPECÍMENES PARAFINADOS.

Los valores de densidad para cada probeta en el **ANEXO B.2.**

Tabla 3.3. Valores Promedio de la Gravedad específica Bulk y la Densidad de Mezclas Asfálticas

Probeta Temperatura	Gravedad específica Bulk Promedio	Densidad promedio (gr/cm ³)
120°C	2.24	2.23
140°C	2.25	2.24
160°C	2.20	2.20

3.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

Los valores de Gmm para cada probeta en el **ANEXO B.3.**

Tabla 3.4. Valores promedio de gravedad máxima teórica

Temperatura	Gmm
120 °C	2.41
140 °C	2.39
160 °C	2.34

3.6. PORCENTAJE DE VACIOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS Y ABIERTAS

Los valores de porcentaje de vacios para cada probeta en el **ANEXO B.4**.

Tabla 3.5. Porcentaje de vacios promedio en la mezcla.

Probeta	Temperatura	Va promedio (%)
1	120 °C	7.12
2		
3		
4		
5		
6		
7	140 °C	5.89
8		
9		
10		
11		
12		
13	160 °C	5.78
14		
15		
16		
17		
18		

3.7. MÓDULO 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 módulo 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 módulo elástico.

Los valores de Módulo Elástico para cada probeta en el **ANEXO B.4**.

Tabla 3.6. Módulo elástico bajo carga estática constante a 7.5°C.

Esfuerzo (Mpa)	Deformación Promedio (mm/mm)		
	Probeta 120 °C	Probeta 140 °C	Probeta 160 °C
0,0542	0,0044	0,0031	0,0034
0,1084	0,0067	0,0053	0,0056
0,1627	0,0099	0,0081	0,0087
0,2169	0,0118	0,0100	0,0108
0,2711	0,0137	0,0121	0,0128
0,3253	0,0160	0,0146	0,0151

Grafica 3.1. Esfuerzo vs Deformación Módulo elástico

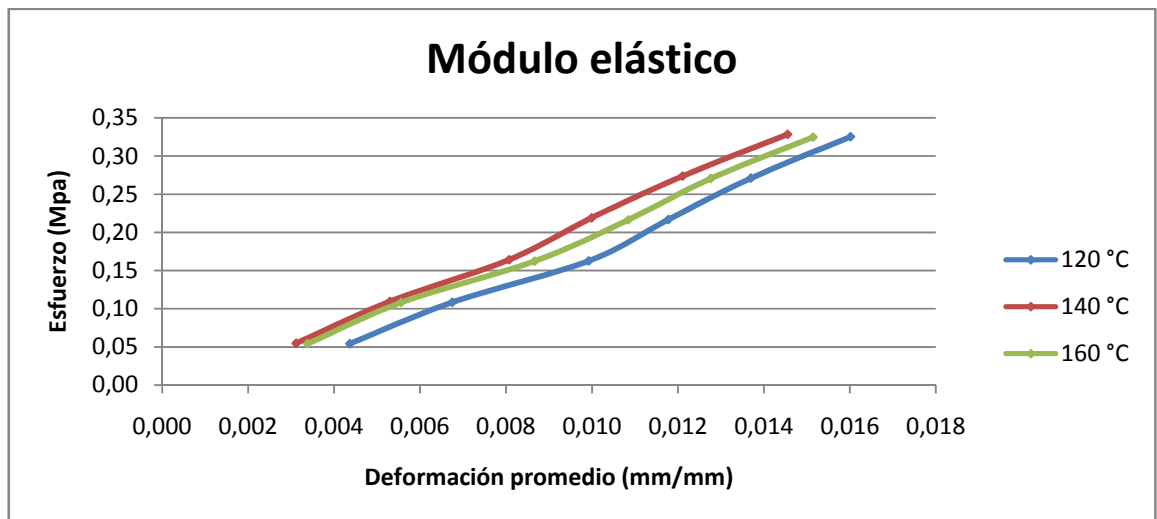


Tabla 3.7. Valores del módulo de Elasticidad

Temperatura	Ecuación de la recta	Modulo Elástico (Mpa)
120 °C	$y=23,28x-0,052$	23,28
140 °C	$y=23,51x-0,025$	23,21
160 °C	$y=22,78x-0,032$	22,78

3.8. CARGA ESTÁTICA SIN CONFINAR A 60 °C (CREEP)

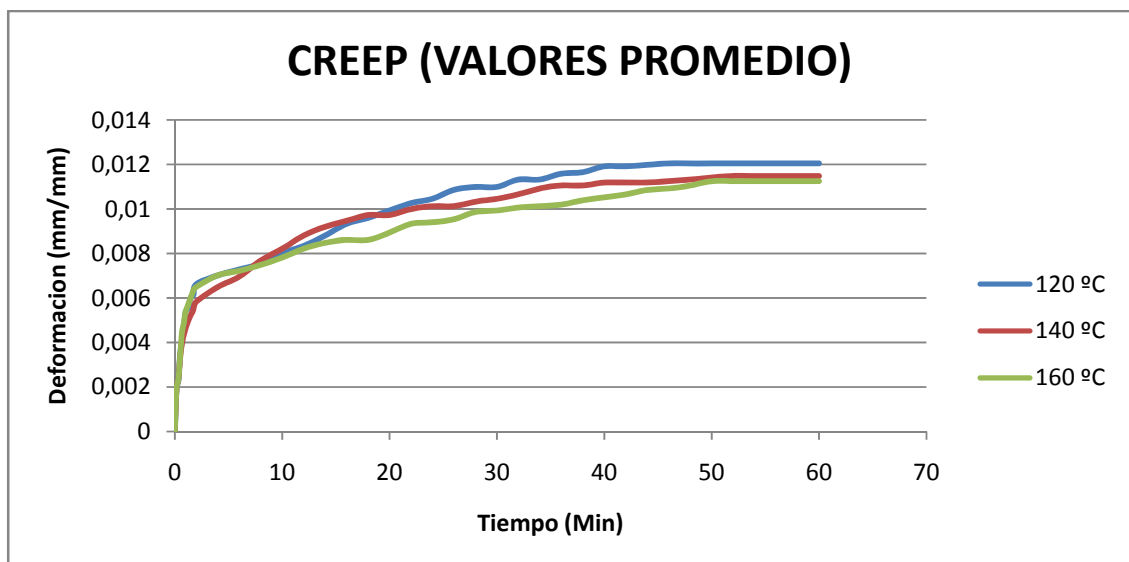
Los valores de Creep para cada probeta en el **ANEXO B.5**.

Tabla 3.8. Valores promedio de deformaciones bajo carga constante de 10.125 lb

TIEMPO (min)	Temperatura		
	120 °C	140 °C	160 °C
0	0	0	0
0,17	0,0020	0,0020	0,0020
0,33	0,0022	0,0023	0,0023
0,50	0,0035	0,0033	0,0034
0,67	0,0041	0,0040	0,0044
0,83	0,0047	0,0043	0,0048
1	0,0054	0,0046	0,0054
1,25	0,0056	0,0050	0,0057
1,5	0,0060	0,0052	0,0060
1,75	0,0062	0,0055	0,0064
2	0,0066	0,0058	0,0065
4	0,0070	0,0065	0,0070
6	0,0073	0,0070	0,0072
8	0,0075	0,0077	0,0075
10	0,0080	0,0082	0,0078
12	0,0083	0,0088	0,0082
14	0,0088	0,0092	0,0085
16	0,0093	0,0095	0,0086
18	0,0096	0,0097	0,0086
20	0,0099	0,0097	0,0089
22	0,0103	0,0100	0,0093
24	0,0105	0,0101	0,0094
26	0,0109	0,0101	0,0095
28	0,0110	0,0103	0,0099

TIEMPO (min)	Temperatura		
	120 °C	140 °C	160 °C
30	0,0110	0,0105	0,0099
32	0,0113	0,0107	0,0101
34	0,0113	0,0109	0,0101
36	0,0116	0,0111	0,0102
38	0,0117	0,0111	0,0104
40	0,0119	0,0112	0,0105
42	0,0119	0,0112	0,0107
44	0,0120	0,0112	0,0109
46	0,0128	0,013	0,013
48	0,0128	0,013	0,013
50	0,0129	0,013	0,013
52	0,0129	0,013	0,013
54	0,0129	0,013	0,013
56	0,0129	0,013	0,013
58	0,0129	0,013	0,013
60	0,0129	0,013	0,013

Grafica 3.2. Deformación promedio en función de tiempo (probetas 120, 140, 160°C)



3.9. ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO

3.10. Los valores de estabilidad Marshall y flujo para cada probeta en el **ANEXO B.5**.

Tabla 3.9. Valores promedio de estabilidad Marshall y Flujo

Probeta	Temperatura	Estabilidad promedio (KN)	Flujo promedio (mm)
1	120 °C	14,41	5,20
2			
3			
4			
5			
6			
7	140 °C	13,04	4,28
8			
9			
10			
11			
12			
13	160 °C	18,89	3,78
14			
15			
16			
17			
18			

4.0. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. DISEÑO DEL LIGANTE

El ligante utilizado fue asfalto 60/70 con 20% en peso de asfaltita, esta combinación tuvo características similares al asfalto 20/30 en cuanto a penetración, ductilidad y punto de ablandamiento, cabe notar que el asfalto 20/30 es el utilizado para mezclas asfálticas de alto módulo en el continente europeo, el objetivo nuestro fue utilizar materiales de la región santandereana como la asfaltita para obtener un ligante de similares características.

4.2. GRANULOMETRÍA

Se utilizó la granulometría para mezclas asfálticas de alto módulo de (Trabajo de grado: Mezclas asfálticas de alto módulo. Autor Adriana Méndez y Yudith Maritza Núñez. UIS 2008), a excepción de los finos utilizados para esta granulometría, los cuales fueron reemplazados por el 50% de zeolita según las mezclas asfálticas tibias (Trabajo de grado: Mezclas asfálticas tibias. Autor: Lyda Marcela Celis y Gerardo Serrano).

4.3. FABRICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

La combinación de las dos técnicas Mezclas asfálticas de alto módulo y Mezclas tibias, cuyo objeto fue preparar un mezcla asfáltica de alto módulo a menor temperatura, de la cual pudimos observar una notable reducción en la emisión de gases cuando la temperatura de mezclado era más baja, lo cual para grandes cantidades resulta una buena solución de tipo ambiental, de igual manera notamos que los agregados eran envueltos por el ligante de manera completa, esto gracias a la utilización de la zeolita.

4.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ESPECÍMENES PARAFINADOS.

Los valores obtenidos en cuanto a gravedad específica y densidad para las 3 temperaturas trabajadas 160, 140, 120 °C respectivamente, se noto una variación en el porcentaje de vacíos para la temperatura de 120 °C, la cual presenta 7.12%, valor superior al de las demás temperaturas las cuales están entre el rango de 5 y 6%.

4.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (GMM) DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

No se observó una variación importante en comparación a las diferentes temperaturas trabajadas en las anteriores investigaciones de alto módulo y mezclas asfálticas tibias. Los valores de Gmm estuvieron dentro los valores normales encontrados por estos trabajos de grado comparado con la forma de fabricación de las probetas.

4.6. MODULO ELÁSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Al observar los resultados obtenidos de los ensayos a las probetas fabricadas a diferentes temperaturas 120,140 y 160 °C, comparando los resultados (Trabajo de grado: Mezclas asfálticas de alto módulo. Autor Adriana Méndez y Yudith Maritza Núñez. UIS 2008), que caracterizan una mezcla de alto módulo en caliente, notamos que estos módulos fueron muy similares, de lo cual dedujimos que la utilización de zeolita como técnica de fabricación de una mezcla de alto módulo a una menor temperatura, no afecta el valor de su módulo elástico alto en comparación a las mezclas tradicionales.

4.7. CARGA ESTÁTICA SIN CONFINAR A 60 °C (CREEP)

Al someter las probetas a la carga estática, analizamos su comportamiento dependiendo a que temperatura fue preparada, para examinar las variaciones de las deformaciones para las diferentes probetas de cada temperatura y el respectivo valor de carga, sacando un promedio de deformación y carga, se observó que una leve variación pero no muy significativa con los valores referentes a las mezclas de alto módulo preparadas a 160°C con respecto a la de 120°C que son los valores extremos de temperatura que trabajamos.

4.8. ESTABILIDAD MARSHALL Y FLUJO

Analizando los resultados obtenidos y comparándolos con los datos que se obtuvieron en el (Trabajo de grado: Mezclas asfálticas de alto módulo. Autor Adriana Méndez y Yudith Maritza Núñez. UIS 2008), el cual especifica los valores de estabilidad y flujo de una mezcla de alto módulo en caliente, se notó una variación en estos dos factores; la estabilidad fue levemente mayor, se puede deber a la intervención de la zeolita en la mezcla cabe notar que ésta variación no es muy significativa, y por ende las deformaciones obtenidas fueron menores indicando que las probetas fabricadas son ligeramente más rígidas.

5.0. CONCLUSIONES

- La utilización de asfaltita para la obtención de asfaltos duros es una alternativa para modificar un asfalto 60/70, para que presente características mecánicas de un asfalto 20/30 y así obtener un bitumen de baja penetración.
- La adición de zeolita a un asfalto duro cambia sus propiedades generando un espumado, por ende un aumento de su volumen y viscosidad, de tal forma haciendo que este envuelva a los agregados en forma completa, incluso a menor temperatura (120 y 140 °C).
- La realización mezclas asfálticas a menor temperatura (Mezcla tibia), genera una notable reducción en la emisión gases nocivos para el ambiente y las personas.
- Se observo que el porcentaje de vacios para las mezcla preparada a temperatura de 120 °C aumento con respecto a las demás temperaturas (140 y 160 °C), el aumento es del orden del 1%.
- Al fabricar las probetas de asfalto mediante una mezcla tibia, no se obtuvo una variación significativa en las propiedades mecánicas de éstas.
- La técnica de fabricación de probetas en mezcla tibia se puede utilizar para la fabricación de mezclas con asfaltos duros para generar mezclas de alto módulo.

6.0. RECOMENDACIONES

En el desarrollo de ésta investigación se proponen las siguientes recomendaciones para posteriores investigaciones:

- Es necesario poseer o adquirir equipos de diferentes tipos medición, en la fabricación de mezclas asfálticas que cuenten con la suficiente precisión y modernidad para así evitar errores en la manipulación y toma de datos.
- Para obtener un mejor resultado en la fabricación de las probetas con asfaltita se recomienda emplear un mecanismo o aparato de tipo mecánico para realizar la combinación asfalto 60/70 diluido con la asfaltita en el mismo estado para que las proporciones queden diluidas en forma homogénea.
- Se recomienda realizar un análisis de costos en la implementación de este tipo de asfaltos duros con asfaltita y zeolita para valorar su utilización en nuestra región y otras zonas del país.
- Es importante efectuar una vía pavimentación a una determinada escala o gran porción para así notar un comportamiento más real de este tipo de mezcla asfáltica en cuanto a deformación, resistencia, efecto del agua, porcentaje de vacíos, etc.

7.0. BIBLIOGRAFÍA

MÉNDEZ Adriana y NÚÑEZ Yudith Maritza. Mezclas asfálticas de alto módulo. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. 2008

CELIS Lyda Marcela y SERRANO Carlos Gerardo. Mezclas asfálticas tibias. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. 2008

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.cpasfalto.org/35reunion/Miercoles-12-11-08/CONFERENCIA-C-Soluciones-a-mas-bajas-temperaturas-para-mezclas-asfalticas.pdf>
- <http://www.aspha-min.de/aspha-min.html>
- <http://www.probisa.es/Publicaciones/showfile.aspx?id=924>
- http://www.e-asphalt.com/orig_asf/origenasf.htm

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 LA MUESTRA 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	957,081097
1/2" - 3/8"	300	175	58,33333333	9,33747412	544,68599
SUMA		3620	75,75	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 FRENTE A LA ACCION DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO
 SEGÚN NORMA INVIAS E-220**

FECHA _____
 PROYECTO _____
 LOCALIZACION _____
 DESCRIPCION _____

TAMZ	PESO RETENDO	% RETENDO
SUMA		

TAMAÑO TAMICES		GRADACION MUESTRA ORIGINAL %	PESO FRACCION ANTES DEL ENSAYO P1 (Gr)	PESO FRACCION DESPUES DEL ENSAYO P1 (Gr)	PERDIDA Gr	% QUE PASA EL TAMIZ DESPUES DEL ENSAYO. % PERDIDA REAL	GRADACION ORIGINAL * % PERDIDA REAL
PASANTE	RETENDO						
1"	3/4"	60	1500	1435,32	64,68	4,312	55,688
3/4"	1/2"	26,8	670	666,17	3,83	0,571641791	26,22835821
1/2"	3/8"	13,2	330	313,84	16,16	4,896969697	8,303030303
SUMA		100	2500	2415,33	84,67	9,780611488	90,21938851

PERDIDAS DEL ENSAYO DE SOLIDEZ UTILIZANDO EL SULFATO DE SODIO = 9,7806 %

EXAMEN CUALITATIVO	#	%
PARTICULAS ANTES DEL ENSAYO	75	100
PARTICULAS DESPUES DEL ENSAYO	75	100
PARTICULAS DESCASCARADAS	7	9,33
PARTICULAS DESINTEGRADAS	0	0
PARTICULAS AGRIETADAS	0	0
PARTICULAS PARTIDAS	0	0
PARTICULAS LAJADAS	0	0
PARTICULAS RESQUEBRAJADAS	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	1	2	3
TEMPERATURA: 25 GRADOS			
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.....	$\frac{A}{(A-B)} = 2,6469031 \text{ (D)**}$
PESO UNITARIO	
CALIBRADOR DEL MEDIDOR	
P1= Peso del medidor + vidrio.....	3040 Gramos
P2= Peso del medidor + vidrio + agua.....	5870 Gramos
V= Volumen del medidor.....	$\frac{(P2-P1)}{1000} = 2,83 \text{ Gramos}$
DATOS:	
Pm= Peso del medidor vacio.....	2560 Gramos
Pc= Peso del medidor + material S.S.S compactado.....	7292 Gramos
Pz = 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.....	$\frac{(Pc-Pm)}{V} = 1672,0848 \text{ Kg/m}^3 \text{ (E**)}$
Peso unitaio del agregado S.S.S suelto	
Peso unitaio del agregado S.S.S suelto	$\frac{(Pz-Pm)}{V} = 1472,0848 \text{ Kg/m}^3$
% de absorción.....	$\frac{(A-C) \cdot 100}{C} = 7,0663812 \%$
% de vacios.....	$\frac{(D \cdot 1000 - E)}{(D \cdot 10)} = 36,828636 \%$
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:S en el aire.....	500 Gramos
C= Peso de la muestra. Frasco y agua agregada hasta la marca, en el aire.....	370 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
Ps = Peso del medidor + material S.S.S suelto.....	6728,33
Peso unitario del agregado S.S.S compactado.....	$\frac{(Pc-Pm)}{V} = 1703,7037$ Kal/m ³ (F**)
Peso unitario del agregado S.S.S suelto.....	$\frac{(Ps-Pm)}{V} = 1470,3104$ Kal/m ³
% de absorción.....	$\frac{(B-D)*100}{C} = 0,6597938$ %
% de vacios.....	$\frac{(E*1000-F)}{(E*10)} = 36,962963$ %

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

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA GRAMOS	PESO MATERIAL RETE EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	% RETENIDO CALIBRADOR * RETENIDO GRAD. ORI.
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	1500	369,34	23,956	15,52795031	371,9875776
1"	3/4"	1135	196	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

TAMAÑO TAMICES		PESO MUESTRA GRAMOS	PESO MATERIAL PASA EN EL CALIBRADOR	% PASA EN EL CALIBRADOR	% RETENIDO GRADACION ORIGINAL	% RETENIDO CALIBRADOR * RETENIDO GRAD. ORI.
PASANTE	RETENIDO					
1 1/2"	1"	1500	296	19,66666667	15,52795031	305,3830228
1"	3/4"	1135	136	11,89427313	11,7494824	139,7515528
3/4"	1/2"	700	136	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	Temperatura	Geometría		
		Altura (cm)	Altura _{prom} (cm)	Diámetro (cm)
1	120 °C	6,3	6,4	10,4
2		6,4		10,2
3		6,5		10,2
4		6,4		10,2
5		6,4		10,4
6		6,4		10,3
7	140 °C	6,5	6,38	10,2
8		6,3		10,35
9		6,3		10,25
10		6,4		10,2
11		6,5		10,2
12		6,3		10,2
13	160 °C	6,2	6,4	10,45
14		6,3		10,4
15		6,4		10,2
16		6,5		10,2
17		6,5		10,3
18		6,5		10,2

ANEXO B.2

Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas parafinados (INV E-734)

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

Donde:

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

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

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

F= Gravedad Específica de la parafina a 25°C

F= 0.875 (gr/cm³)

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad Específica bulk} \times \text{Densidad H}_2\text{O}$$

Donde: Densidad H₂O = 0.997 (g/cm³)

N°	T(°C)	A	D	E	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica Bulk Promedio	Densidad (gr/cm ³)	Densidad promedio (gr/cm ³)
		W _{seca} (gr)	W _{con parafina} (gr)	W _{sumergida} (gr)				
1	120°C	1176	1274,5	635,3	2,23	2,24	2,23	2,23
2		1182	1226,4	647,4	2,24		2,23	
3		1178	1253	634,2	2,21		2,20	
4		1182	1243,6	646,5	2,24		2,24	
5		1186	1252,2	652,3	2,26		2,26	
6		1178	1272,1	639,4	2,24		2,24	
1	140°C	1188	1244,1	646,6	2,23	2,25	2,22	2,24
2		1178	1231,8	642,2	2,23		2,22	
3		1186	1249,1	659,1	2,29		2,28	
4		1182	1241,3	642,4	2,23		2,22	
5		1188	1289,2	649,2	2,27		2,26	
6		1172	1223,8	645	2,26		2,25	

		A	D	E				
N°	T(°C)	W seca (gr)	W con parafina (gr)	W sumerg (gr)	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica Bulk Promedio	Densidad (gr/cm ³)	Densidad promedio (gr/cm ³)
1	160°C	1158	1222,2	633,7	2,25	2,20	2,24	2,20
2		1172	1248,7	620,4	2,17		2,16	
3		1150	1222	616,4	2,20		2,19	
4		1182	1255,2	637,8	2,21		2,21	
5		1180	1241,7	625,6	2,16		2,16	
6		1196	1246,8	654,3	2,24		2,23	

ANEXO B.3

Gravedad máximo teórico de mezclas asfálticas (INV E-735)

$$\text{Gravedad máxima específica teórica} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

A= masa en el aire de la muestra seca en el horno (gr)

D=masa del recipiente lleno con agua a 25°C (gr)

E= masa del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C (g)

GRAVEDAD MAXIMA MEDIDA				
	A	D	E	
Temperatura	W muestra (gr)	W recipiente + Agua (gr)	W muestra sumergida (gr)	Gmm
120 °C	800	1953	2421	2,41
140 °C	800	1954	2419	2,39
160 °C	800	1952	2410	2,34

ANEXO B.4:

Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas densas y abiertas (INV E-736)

$$Va = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Va = Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada respecto al volumen del espécimen.

Gmm= Gravedad específica máxima teórica

Gmb = Gravedad específica bulk de espécimen compactado

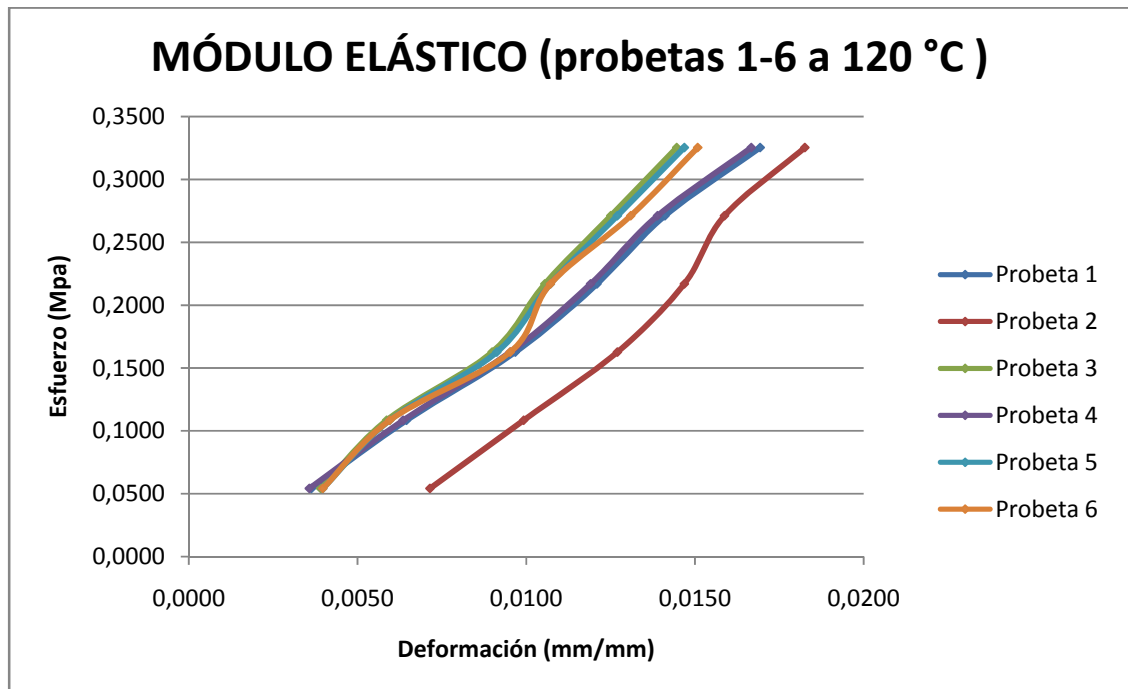
Probeta	Temperatura	Gmb	Gmm	Va	Va promedio (%)
1	120 °C	2,23	2,41	7,34	7,12
2		2,24	2,41	7,16	
3		2,21	2,41	8,31	
4		2,24	2,41	6,88	
5		2,26	2,41	6,13	
6		2,24	2,41	6,92	
1	140 °C	2,23	2,39	6,81	5,89
2		2,23	2,39	6,67	
3		2,29	2,39	4,18	
4		2,23	2,39	6,88	
5		2,27	2,39	5,20	
6		2,26	2,39	5,62	
1	160 °C	2,25	2,34	3,93	5,78
2		2,17	2,34	7,36	
3		2,20	2,34	6,09	
4		2,21	2,34	5,36	
5		2,16	2,34	7,57	
6		2,24	2,34	4,37	

ANEXO B.5:

Modulo elástico bajo carga monotónica de 577 lb a T=7.5 °C

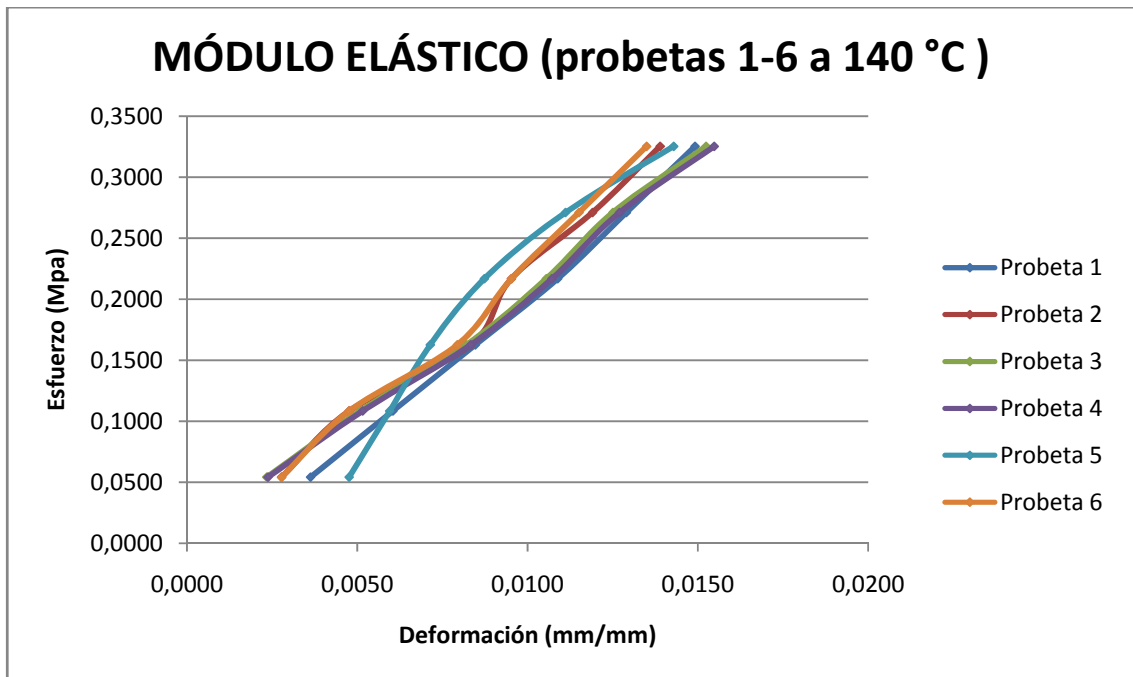
- Análisis para 120 °C

Esfuerzo (Mpa)	TEMPERATURA 120 °C					
	Deformación (mm/mm)					
	1	2	3	4	5	6
0,0542	0,0036	0,0071	0,0039	0,0036	0,0040	0,0040
0,1084	0,0065	0,0099	0,0059	0,0064	0,0060	0,0060
0,1627	0,0097	0,0127	0,0090	0,0095	0,0091	0,0095
0,2169	0,0121	0,0147	0,0106	0,0119	0,0107	0,0107
0,2711	0,0141	0,0159	0,0125	0,0139	0,0127	0,0131
0,3253	0,0169	0,0183	0,0145	0,0167	0,0147	0,0151



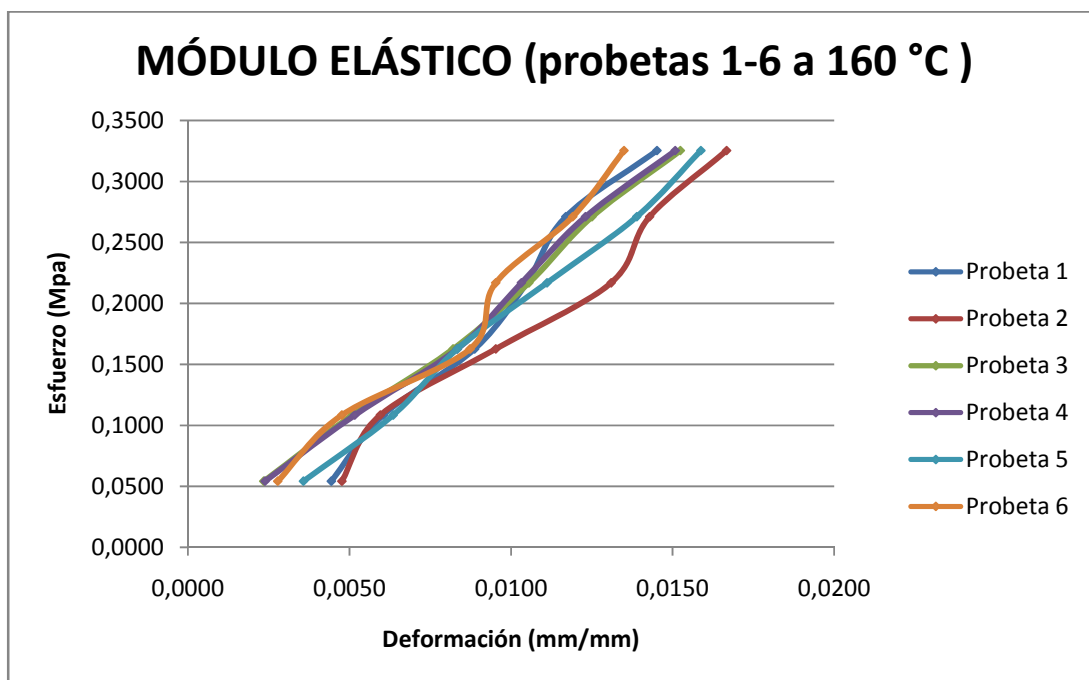
- Análisis para 140 °C

Esfuerzo (Mpa)	TEMPERATURA 140 °C					
	Deformación (mm/mm)					
	1	2	3	4	5	6
0,0542	0,0036	0,0028	0,0023	0,0024	0,0048	0,0028
0,1084	0,0060	0,0048	0,0051	0,0052	0,0060	0,0048
0,1627	0,0085	0,0083	0,0082	0,0083	0,0071	0,0079
0,2169	0,0109	0,0095	0,0106	0,0107	0,0087	0,0095
0,2711	0,0129	0,0119	0,0125	0,0127	0,0111	0,0115
0,3253	0,0149	0,0139	0,0152	0,0155	0,0143	0,0135



- Análisis para 160 °C

		TEMPERATURA 160 °C					
Esfuerzo (Mpa)	Deformación (mm/mm)						
	1	2	3	4	5	6	
0,0542	0,0044	0,0048	0,0023	0,0024	0,0036	0,0028	
0,1084	0,0060	0,0060	0,0051	0,0052	0,0064	0,0048	
0,1627	0,0089	0,0095	0,0082	0,0083	0,0083	0,0087	
0,2169	0,0105	0,0131	0,0106	0,0103	0,0111	0,0095	
0,2711	0,0117	0,0143	0,0125	0,0123	0,0139	0,0119	
0,3253	0,0145	0,0167	0,0152	0,0151	0,0159	0,0135	



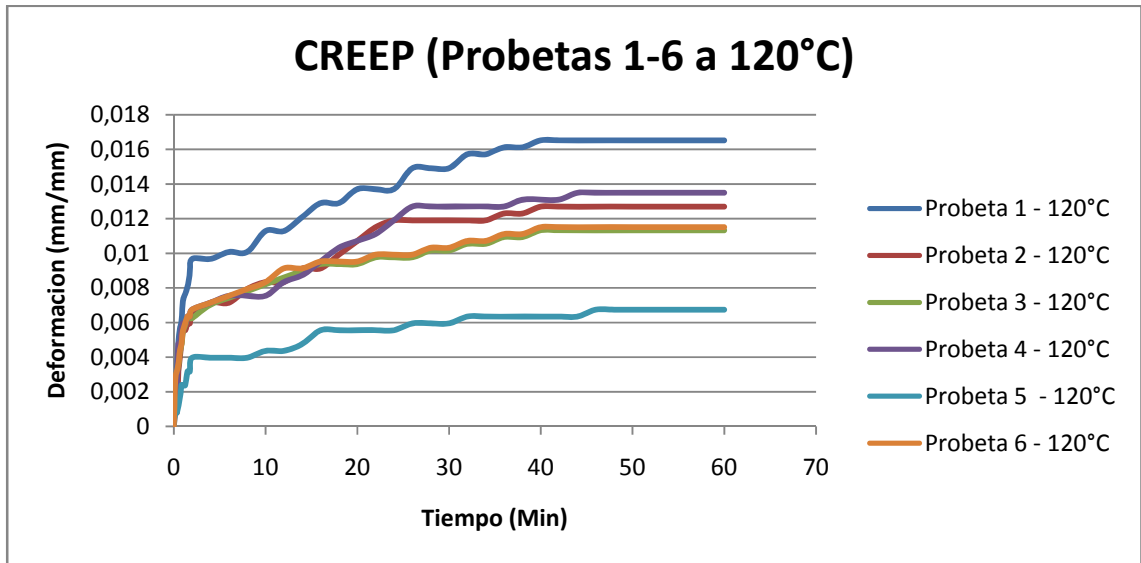
ANEXO B.6

Creep sin confinar bajo carga estática de 100.125 lb a T= 60°C

- Para temperatura de 120°C

		Deformación en (mm/mm) Para las probetas de 120°C					
Tiempo (Min)	Probeta						
		1	2	3	4	5	6
0		0	0	0	0	0	0
0,17		0,00241905	0,00079375	0,00273538	0,00238125	0,00079375	0,00277813
0,33		0,0032254	0,00079375	0,00312615	0,00238125	0,00079375	0,003175
0,50		0,0048381	0,003175	0,00351692	0,0047625	0,00119063	0,00357188
0,67		0,00564444	0,00396875	0,00429846	0,0047625	0,0015875	0,00436563
0,83		0,00604762	0,0047625	0,00468923	0,00555625	0,00238125	0,0047625
1,00		0,00725714	0,00555625	0,00547077	0,00595313	0,00238125	0,00555625
1,25		0,00766032	0,00555625	0,00586154	0,00595313	0,00238125	0,00595313
1,50		0,00806349	0,00595313	0,00625231	0,00635	0,003175	0,00635
1,75		0,00886984	0,00595313	0,00625231	0,00635	0,003175	0,00635
2		0,00967619	0,00635	0,00625231	0,00674688	0,00396875	0,00674688
4		0,00967619	0,00714375	0,00703385	0,00714375	0,00396875	0,00714375
6		0,01007937	0,00714375	0,00742462	0,00754063	0,00396875	0,00754063
8		0,01007937	0,0079375	0,00781538	0,00754063	0,00396875	0,0079375
10		0,01128889	0,00833438	0,00820615	0,00754063	0,00436563	0,00833438
12		0,01128889	0,00833438	0,00859692	0,00833438	0,00436563	0,00912813
14		0,01209524	0,00912813	0,00898769	0,00873125	0,0047625	0,00912813
16		0,01290159	0,00912813	0,00937846	0,009525	0,00555625	0,009525
18		0,01290159	0,00992188	0,00937846	0,01031875	0,00555625	0,009525
20		0,01370794	0,01071563	0,00937846	0,01071563	0,00555625	0,009525
22		0,01370794	0,01150938	0,00976923	0,0111125	0,00555625	0,00992188
24		0,01370794	0,01190625	0,00976923	0,01190625	0,00555625	0,00992188
26		0,01491746	0,01190625	0,00976923	0,0127	0,00595313	0,00992188
28		0,01491746	0,01190625	0,01016	0,0127	0,00595313	0,01031875
30		0,01491746	0,01190625	0,01016	0,0127	0,00595313	0,01031875
32		0,01572381	0,01190625	0,01055077	0,0127	0,00635	0,01071563
34		0,01572381	0,01190625	0,01055077	0,0127	0,00635	0,01071563

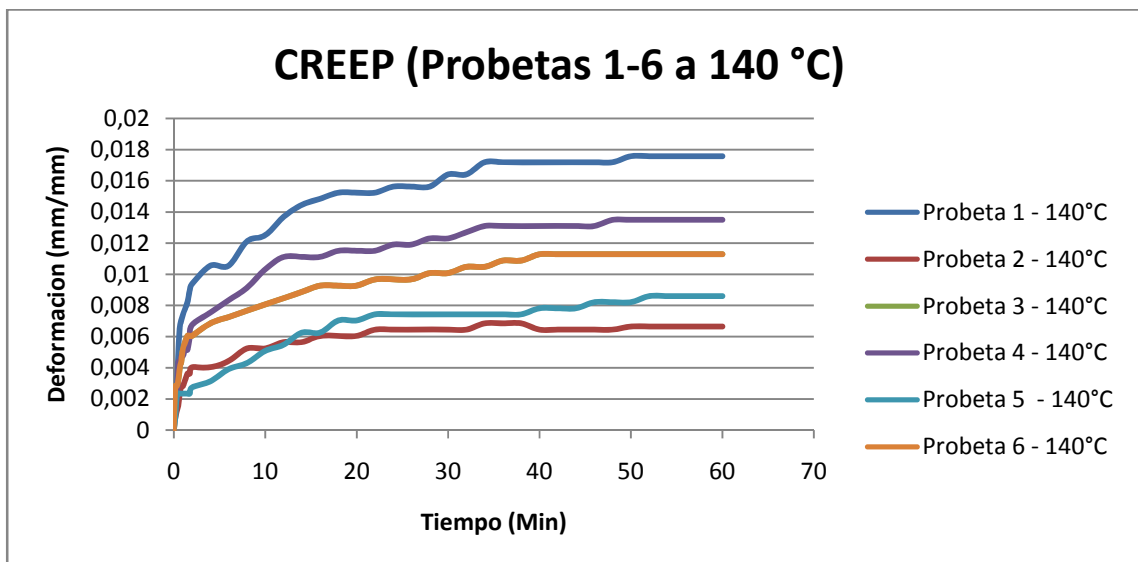
36	0,01612698	0,01230313	0,01094154	0,0127	0,00635	0,0111125
38	0,01612698	0,01230313	0,01094154	0,01309688	0,00635	0,0111125
40	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01309688	0,00635	0,01150938
42	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01309688	0,00635	0,01150938
44	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00635	0,01150938
46	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
48	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
50	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
52	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
54	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
56	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
58	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938
60	0,01653016	0,0127	0,01133231	0,01349375	0,00674688	0,01150938



- Para temperatura de 140°C

		Deformación en (mm/mm) Para las probetas de 140°C					
Tiempo (Min)	Probeta	1	2	3	4	5	6
	0		0	0	0	0	0
0,17		0,0023	0,0008	0,0028	0,0024	0,0008	0,0028
0,33		0,0027	0,0012	0,0028	0,0020	0,0023	0,0028
0,50		0,0051	0,0016	0,0032	0,0044	0,0023	0,0032
0,67		0,0066	0,0024	0,0040	0,0044	0,0023	0,0040
0,83		0,0070	0,0028	0,0044	0,0048	0,0023	0,0044
1,00		0,0074	0,0028	0,0052	0,0048	0,0023	0,0052
1,25		0,0078	0,0032	0,0056	0,0052	0,0023	0,0056
1,50		0,0082	0,0036	0,0060	0,0052	0,0023	0,0060
1,75		0,0090	0,0036	0,0060	0,0060	0,0023	0,0060
2		0,0094	0,0040	0,0060	0,0067	0,0027	0,0060
4		0,0106	0,0040	0,0069	0,0075	0,0031	0,0069
6		0,0106	0,0044	0,0073	0,0083	0,0039	0,0073
8		0,0121	0,0052	0,0077	0,0091	0,0043	0,0077
10		0,0125	0,0052	0,0081	0,0103	0,0051	0,0081
12		0,0137	0,0056	0,0085	0,0111	0,0055	0,0085
14		0,0145	0,0056	0,0089	0,0111	0,0063	0,0089
16		0,0148	0,0060	0,0093	0,0111	0,0063	0,0093
18		0,0152	0,0060	0,0093	0,0115	0,0070	0,0093
20		0,0152	0,0060	0,0093	0,0115	0,0070	0,0093
22		0,0152	0,0065	0,0097	0,0115	0,0074	0,0097
24		0,0156	0,0065	0,0097	0,0119	0,0074	0,0097
26		0,0156	0,0065	0,0097	0,0119	0,0074	0,0097
28		0,0156	0,0065	0,0101	0,0123	0,0074	0,0101
30		0,0164	0,0065	0,0101	0,0123	0,0074	0,0101
32		0,0164	0,0065	0,0105	0,0127	0,0074	0,0105
34		0,0172	0,0069	0,0105	0,0131	0,0074	0,0105
36		0,0172	0,0069	0,0109	0,0131	0,0074	0,0109
38		0,0172	0,0069	0,0109	0,0131	0,0074	0,0109

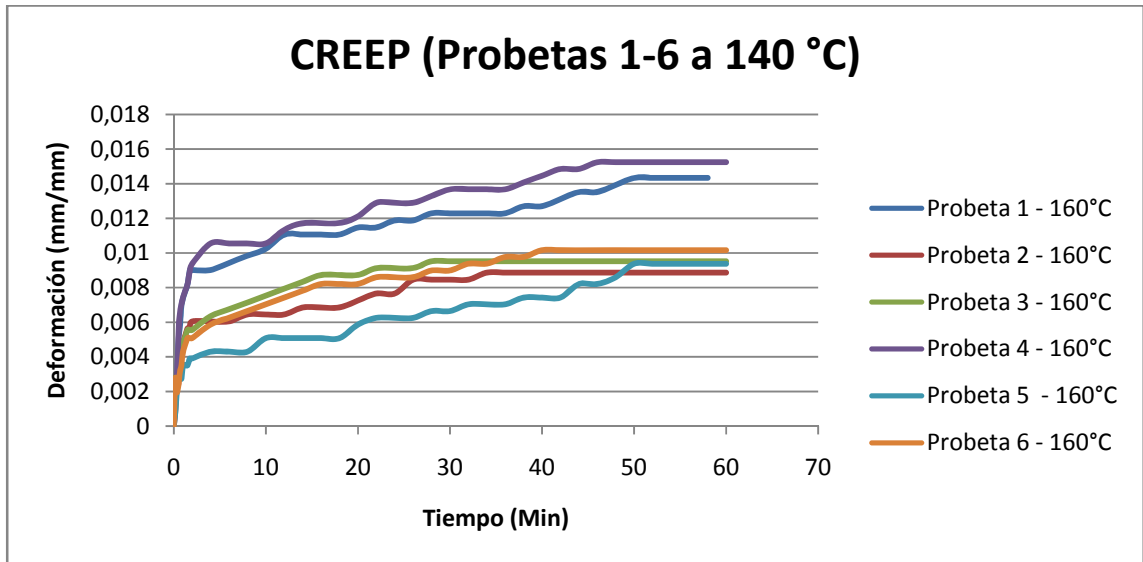
40	0,0172	0,0065	0,0113	0,0131	0,0078	0,0113
42	0,0172	0,0065	0,0113	0,0131	0,0078	0,0113
44	0,0172	0,0065	0,0113	0,0131	0,0078	0,0113
46	0,0172	0,0065	0,0113	0,0131	0,0082	0,0113
48	0,0172	0,0065	0,0113	0,0135	0,0082	0,0113
50	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0082	0,0113
52	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0086	0,0113
54	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0086	0,0113
56	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0086	0,0113
58	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0086	0,0113
60	0,0176	0,0067	0,0113	0,0135	0,0086	0,0113



- Para temperatura de 160°C

		Deformación en (mm/mm) Para las probetas de 160°C					
Tiempo (Min)	Probeta	1	2	3	4	5	6
	0		0	0	0	0	0
0,17		0,0025	0,0008	0,0028	0,0023	0,0008	0,0027
0,33		0,0025	0,0024	0,0024	0,0027	0,0020	0,0020
0,50		0,0049	0,0024	0,0028	0,0051	0,0027	0,0023
0,67		0,0057	0,0048	0,0036	0,0066	0,0027	0,0031
0,83		0,0070	0,0048	0,0040	0,0070	0,0027	0,0035
1,00		0,0074	0,0048	0,0048	0,0074	0,0035	0,0043
1,25		0,0078	0,0052	0,0052	0,0078	0,0035	0,0047
1,50		0,0082	0,0056	0,0056	0,0082	0,0035	0,0051
1,75		0,0090	0,0056	0,0056	0,0090	0,0039	0,0051
2		0,0090	0,0060	0,0056	0,0094	0,0039	0,0051
4		0,0090	0,0060	0,0064	0,0106	0,0043	0,0059
6		0,0094	0,0060	0,0067	0,0106	0,0043	0,0063
8		0,0098	0,0065	0,0071	0,0106	0,0043	0,0066
10		0,0102	0,0065	0,0075	0,0106	0,0051	0,0070
12		0,0111	0,0065	0,0079	0,0113	0,0051	0,0074
14		0,0111	0,0069	0,0083	0,0117	0,0051	0,0078
16		0,0111	0,0069	0,0087	0,0117	0,0051	0,0082
18		0,0111	0,0069	0,0087	0,0117	0,0051	0,0082
20		0,0115	0,0073	0,0087	0,0121	0,0059	0,0082
22		0,0115	0,0077	0,0091	0,0129	0,0063	0,0086
24		0,0119	0,0077	0,0091	0,0129	0,0063	0,0086
26		0,0119	0,0085	0,0091	0,0129	0,0063	0,0086
28		0,0123	0,0085	0,0095	0,0133	0,0066	0,0090
30		0,0123	0,0085	0,0095	0,0137	0,0066	0,0090
32		0,0123	0,0085	0,0095	0,0137	0,0070	0,0094
34		0,0123	0,0089	0,0095	0,0137	0,0070	0,0094
36		0,0123	0,0089	0,0095	0,0137	0,0070	0,0098
38		0,0127	0,0089	0,0095	0,0141	0,0074	0,0098
40		0,0127	0,0089	0,0095	0,0145	0,0074	0,0102

42	0,0131	0,0089	0,0095	0,0148	0,0074	0,0102
44	0,0135	0,0089	0,0095	0,0148	0,0082	0,0102
46	0,0135	0,0089	0,0095	0,0152	0,0082	0,0102
48	0,0139	0,0089	0,0095	0,0152	0,0086	0,0102
50	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102
52	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102
54	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102
56	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102
58	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102
60	0,0143	0,0089	0,0095	0,0152	0,0094	0,0102



3.3.6 Estabilidad y Flujo

Probeta	T(°C)	Estabilidad (KN)	Flujo (mm)
1	120 °C	15,31	5,03
2		14,86	4,78
3		17,79	5,44
4		11,71	5,31
5		13,96	5,36
6		12,84	5,28
7	140 °C	14,95	4,11
8		14,28	4,65
9		12,16	4,04
10		11,94	3,99
11		12,07	4,37
12		12,84	4,50
13	160 °C	19,14	3,76
14		19,37	4,24
15		20,18	3,61
16		18,92	3,53
17		17,79	3,73
18		17,93	3,84

