

**CARACTERIZACIÓN DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFÁLTICA USANDO  
DIFERENTES TIPOS DE ASFALTO**

**NAIRA KARINA DÁVILA PIÑERES  
MAYRA ALEJANDRA ALVAREZ GÓMEZ**

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

**2010**

**CARACTERIZACIÓN DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFÁLTICA USANDO  
DIFERENTES TIPOS DE ASFALTO**

**NAIRA KARINA DÁVILA PIÑERES  
MAYRA ALEJANDRA ALVAREZ GÓMEZ**

**Tesis de grado modalidad investigación  
Para optar el título de:  
Ingeniero (a) Civil**

**Director  
EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN  
Ingeniero Civil, M. Sc., Doctor**

**Codirectora  
MARÍA CRISTINA RIVERO OLARTE  
Ingeniera Civil**

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

**2010**

## *AGRADECIMIENTOS*

*A Dios por darnos sabiduría y fortaleza en los momentos de adversidad.*

*A nuestras familias por darnos su amor, comprensión y apoyo en todo momento.*

*A Diana Cepeda y Johanna Cardona quienes nos brindaron su amistad sincera, compartiendo momentos inolvidables en nuestra vida universitaria.*

*A nuestra gran amiga Bibiana García por su colaboración y amistad incondicional en todos los buenos y malos momentos.*

*Al Ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por su orientación y dirección.*

*A la Ingeniera María Cristina Rivero Olarte por no dejarnos desfallecer en los momentos de dificultad, igualmente mil y mil gracias por convertirse en esa amiga incondicional y compañera de batallas, ayudándonos a culminar otra etapa de nuestra vida.*

*Finalmente a todas las personas que nos apoyaron y colaboraron durante el desarrollo de este proyecto.*

## *GRACIAS*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	18
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	20
1.1 MÓDULO DINÁMICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA .....	20
1.1.1 Módulo Dinámico.....	20
1.1.1.1 Factores que Influyen en el Módulo Dinámico.....	21
1.1.1.2 Métodos para La Obtención del Módulo Dinámico en Laboratorio.....	22
1.1.2 Estudios Realizados del módulo dinámico en mezclas asfálticas en Colombia [6]23	
1.2 ASFALTOS MODIFICADOS CON ASFALTITA .....	24
1.3 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE .....	25
1.3.1 Mezcla Densa en Caliente (MDC-2).....	26
1.3.2 Mezcla Abierta en Caliente (M1) .....	26
<b>2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO</b> .....	27
2.1 MATERIALES EMPLEADOS .....	27
2.1.1 Agregado Mineral.....	27
2.1.1.1 Procedencia .....	27
2.1.1.2 Ensayos Realizados.....	27
2.1.2 Asfalto .....	27
2.1.2.1 Asfalto de Refinería.....	27
2.1.2.2 Asfalto Natural (Asfaltita).....	28
2.1.2.3 Pruebas Realizadas a la Combinación de Asfalto - Asfaltita.....	28
2.1.2.3.1 Ensayo de Penetración (Norma INV E-706-07).....	29
2.1.2.3.2 Ductilidad (Norma INV E-702-07).....	30

2.1.2.3.3 Punto de Ablandamiento (Norma INV E-712-07) .....	30
2.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS .....	31
2.2.1 Metodología usada para la fabricación de probetas.....	32
2.3 CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS.....	36
2.3.1 Nomenclatura .....	36
2.3.2 Geometría .....	37
2.4 PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS .....	38
2.4.1 Gravedad Específica Bulk .....	38
2.4.1.1 Gravedad Específica Bulk De Mezclas MDC-2 (Norma INV E-733-07).....	38
2.4.1.2 Gravedad Específica Bulk De Mezclas M1.....	38
2.4.2 Gravedad Máxima Teórica (Gmm) (Norma INV E 735-07).....	39
2.4.3 Porcentaje de vacíos de aire en mezcla asfálticas compactadas densas y abiertas (Normas INV E 736-07).....	40
2.4.4 Determinación del Módulo Dinámico (Norma INV E 754-07) .....	42
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
3.1 ENSAYOS REALIZADOS AL ASFALTO (20/30) .....	46
3.1.1 Penetración .....	46
3.1.2 Ductilidad.....	46
3.1.3 Punto de Ablandamiento .....	47
3.2 ENSAYOS REALIZADOS A LAS PROBETAS.....	47
3.2.1 Gravedad específica bulk, Gravedad máxima teórica, VMA, porcentaje de vacios y VFA para mezclas MDC-2 .....	47
3.2.2 Gravedad específica bulk, Gravedad máxima teórica, VMA, porcentaje de vacios y VFA para mezclas M1 .....	48
3.2.4 Módulo Dinámico de la Mezcla Asfáltica .....	48

3.2.4.1 Mezclas Densas en Caliente MDC-2, Variando el Factor Tipo de Asfalto T1 (20/30) y T2 (60/70).....	49
3.2.4.1.1 Comparación entre Diseños 1_1111 con asfalto (20/30) y 5_1211 con asfalto (60/70).....	50
3.2.4.1.2 Comparación entre Diseños 2_1112 con asfalto (20/30) y 6_1212 con asfalto (60/70).....	53
3.2.4.2 Mezclas Abiertas en Caliente M1, Variando el Factor Tipo de Asfalto T1 (20/30) y T2 (60/70).....	57
3.2.4.2.1 Comparación entre Diseños 11_2121 con asfalto (20/30) y 15_2221 con asfalto (60/70) .....	58
3.2.4.2.2 Comparación entre Diseños 12_2122 con asfalto (20/30) y 16_1212 con asfalto (60/70) .....	61
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Módulo dinámico .....	20
Figura 2.2. Esquema de los factores de diseño de las mezclas.....	33
Figura 2.3. Nomenclatura de las probetas .....	36
Figura 3.4. Esquema de análisis de mezclas MDC-2.....	49
Figura 3.5. Esquema de análisis de mezclas M1 .....	57

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Rangos granulométricos empleados .....	31
Tabla 2.2. Porcentajes de asfalto empleados.....	32
Tabla 2.3. Dosificación de las mezclas .....	32
Tabla 2.4. Factores de diseño de las mezclas .....	36
Tabla 2.5. Geometría de las probetas con asfalto (20/30) .....	37
Tabla 2.6. Geometría de las probetas con asfalto (60/70) .....	37
Tabla 3.7. Penetración asfalto modificado.....	46
Tabla 3.8. Ductilidad asfalto modificado.....	46
Tabla 3.9. Resultados de los ensayos Densidad bulk, Gmm, VMA, %Va y VFA para mezclas MDC-2.....	47
Tabla 3.10. Resultados de los ensayos Densidad bulk, Gmm, VMA, %Va y VFA para mezclas M1 .....	48
Tabla 3.11. Valores de módulo diseños (1_1111 y 5_1211) 3°C .....	50
Tabla 3.12. Valores de módulo diseños (1_1111 y 5_1211) 19°C .....	51
Tabla 3.13. Valores de módulo diseños (1_1111 y 5_1211) 35°C .....	52
Tabla 3.14. Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita.....	53
Tabla 3.15. Valores de módulo diseños (2_1112 y 6_1212) 3°C .....	54
Tabla 3.16. Valores de módulo diseños (2_1112 y 6_1212) 19°C .....	55
Tabla 3.17. Valores de módulo diseños (2_1112 y 6_1212) 35°C .....	56
Tabla 3.18. Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita.....	56
Tabla 3.19. Valores de módulo diseños (11_2121 y 15_2221) 3°C .....	58
Tabla 3.20. Valores de módulo diseños (11_2121 y 15_2221) 19°C .....	59
Tabla 3.21. Valores de módulo diseños (11_2121 y 15_2221) 35°C .....	60
Tabla 3.22. Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita.....	61
Tabla 3.23. Valores de módulo diseños (12_2122 y 16_2222) 3°C .....	62
Tabla 3.24. Valores de módulo diseños (12_2122 y 16_2222) 19°C .....	63
Tabla 3.25. Valores de módulo diseños (12_2122 y 16_2222) 35°C .....	64
Tabla 3.26. Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita.....	64

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 2.1. Carga vs deformación sin ajuste a 35°C y frecuencia de 10Hz .....	44
Gráfica 2.2. Carga vs deformación ajustado a 35°C y frecuencia de 10 Hz.....	44
Gráfica 3.3. Módulo dinámico vs frecuencia (1_1111 y 5_1211) 3°C.....	50
Gráfica 3.4. Módulo dinámico vs frecuencia (1_1111 y 5_1211) 19°C.....	51
Gráfica 3.5. Módulo dinámico vs frecuencia (1_1111 y 5_1211) 35°C.....	52
Gráfica 3.6. Módulo dinámico vs frecuencia (2_1112 y 6_1212) 3°C.....	53
Gráfica 3.7. Módulo dinámico vs frecuencia (2_1112 y 6_1212) 19°C.....	54
Gráfica 3.8. Módulo dinámico vs frecuencia (2_1112 y 6_1212) 35°C.....	55
Gráfica 3.9. Módulo dinámico vs frecuencia (11_2121 y 15_2221) 3°C.....	58
Gráfica 3.10. Módulo dinámico vs frecuencia (11_2121 y 15_2221) 19°C.....	59
Gráfica 3.11. Módulo dinámico vs frecuencia (11_2121 y 15_2221) 35°C.....	60
Gráfica 3.12. Módulo dinámico vs frecuencia (12_2122 y 16_2222) 3°C.....	61
Gráfica 3.13. Módulo dinámico vs frecuencia (12_2122 y 16_2222) 19°C.....	62
Gráfica 3.14. Módulo dinámico vs frecuencia (12_2122 y 16_2222) 35°C.....	63

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1. Proceso realizado a la asfaltita .....	29
Fotografía 2.2. Ensayo de penetracion .....	29
Fotografía 2.3. Ensayo de ductilidad .....	30
Fotografía 2. 4. Ensayo de punto de ablandamiento.....	30
Fotografía 2.5. Calentamiento y mezclado del material .....	35
Fotografía 2.6. Compactación y fabricación de las probetas.....	35
Fotografía 2.7. Ensayo gravedad específica bulk.....	39
Fotografía 2. 8. Ensayo gravedad máxima teórica (Gmm) .....	40
Fotografía 2. 9. Proceso de extracción de vacíos .....	41
Fotografía 2.10. Longitud útil de deformación .....	43
Fotografía 2.11. Ensayo módulo dinámico en la MTS-810.....	45

## ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS.....	70
ANEXO B: ENSAYOS MÓDULO DINÁMICO.....	77
ANEXO C: PROTOCOLO DE MANEJO DEL EQUIPO DINAMICO MTS-810 (CAPACIDAD DE CELDA 2.5TN) PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE MÓDULO DINÁMICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	90

## RESUMEN

### TITULO

CARACTERIZACIÓN DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFÁLTICA USANDO DIFERENTES TIPOS DE ASFALTO\*

### AUTORES

DÁVILA PIÑERES, Naira Karina  
ALVAREZ GÓMEZ, Mayra Alejandra\*\*

### PALABRAS CLAVES

Mezclas densas en caliente MDC-2, Mezclas abiertas en caliente M1, Asfaltita, Asfalto duro (20/30), Módulo dinámico

### CONTENIDO

El presente estudio da a conocer el comportamiento del módulo dinámico en dos tipos de mezcla asfáltica, Mezcla Densa en Caliente (MDC-2) y Mezcla Abierta en Caliente (M1) variando el diseño utilizando dos tipos de asfalto. Se utilizó asfalto modificado con asfaltita (20/30) y asfalto convencional (60/70).

Se fabricaron las probetas de las mezclas MDC-2 Y M1 siguiendo los requerimientos de cada uno de sus diseños, se elaboraron 24 probetas cada una con geometría de 5" de altura y 4" de diámetro, una concentración de asfalto de 4.5% y 5%, se utilizó asfalto de penetración 20/30 y 60/70 y por último se varió el origen del agregado Chicamocha y Río Negro.

Para realizar las mezclas que contenían asfalto duro (20/30), se modificó el asfalto convencional (60/70) incorporando el 20% en peso de asfalto natural (asfaltita).

Durante el ensayo las probetas se acondicionaron a tres temperaturas diferentes 3, 19 y 35°C, estas se sometieron inicialmente a una carga estática de compresión lo suficiente para asegurar un buen asiento entre los platos de carga y las caras de la probeta, a continuación se les aplicó una carga cíclica sinusoidal de frecuencias 1, 5 y 10 Hz y se adquirieron datos de los últimos cinco ciclos con los cuales se les calculó el módulo dinámico.

Las probetas en el momento del ensayo mostraron un comportamiento que depende de la temperatura y la velocidad a la que se aplica el esfuerzo, es decir a altas temperaturas y tiempos de aplicación largos el módulo es bajo, mientras que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de la carga el módulo es alto. El comportamiento del módulo dinámico estuvo influenciada por el porcentaje de vacíos de cada una de las mezclas más que por el tipo de asfalto, ya que a mayores porcentajes de vacíos menores módulos.

\*Tesis de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Ingeniería Civil. Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN. Ing. MARÍA CRISTINA RIVERO OLARTE.

## ABSTRACT

### TITLE

CHARACTERIZATION OF THE STIFFNESS OF THE ASPHALTIC MIXTURE USING DIFFERENT TYPES OF ASPHALT\*

### AUTHORS

DÁVILA PINERES, Naira Karina  
ALVAREZ GÓMEZ, Mayra Alejandra\*\*

### KEY WORDS

Hot Dense Mixture MDC-2, Hot Open Mixture M1, Asphaltite, Hard Asphalt (20/30), Dynamic Module.

### CONTENT

This study unveils the dynamic behavior of the module in two types of asphalt, hot dense mixture (MDC-2) and hot open mixture (M1) by varying the design using two types of asphalt. It was used modified asphalt with asphaltite (20/30) and conventional asphalt (60/70).

The specimens are mixtures MDC-2 and M1 following the requirements of each of his designs were developed, each with 24 specimens with geometry 5 " height and 4" diameter, a concentration of 4.5% asphalt and 5 %, it was used penetration asphalt 20/30 and 60/70, finally varying the aggregates source Chicamocha and Río Negro.

To do the mixtures that contained hard asphalt (20/30), was modified the conventional asphalt (60/70) incorporating the 20% in natural asphalt weight (asphaltite).

During the test the specimens were conditioned at three different temperatures 3, 19 and 35 °C, they initially underwent a static load compression enough to ensure a good seat between the loading platens and the faces of the specimen, then we applied a sinusoidal cyclic loading frequencies 1, 5 and 10 Hz and acquired data from the last five cycles with which was calculated the dynamic module.

The specimens at the time of the trial showed a behavior that depends on the temperature and the speed at which stress is applied, ie at high temperatures and long application times the module is low while at low temperatures and short times of load application module is high. The dynamic modulus behavior was influenced by the percentage of gaps in each of the mixtures rather than the type of asphalt, and that higher percentage of empties smaller modules.

\* Degree Thesis

\*\*Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. Ing. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN. Ing. MARÍA CRISTINA RIVERO OLARTE.

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de las vías por la aparición de fisuras y deformaciones en las capas de pavimento, se presenta cuando los esfuerzos exceden ciertos valores límites ocasionados por el paso del tráfico y la variación de la temperatura. En el primer tipo de daño se provoca el endurecimiento del asfalto generando un incremento en la rigidez de la superficie asfáltica tornándola frágil, por el contrario el ahuellamiento provoca un deterioro superficial causado por el aumento de la fluidez del asfalto alterando el nivel de servicio de la vía.

En este trabajo se determinan valores de módulo dinámico de la mezcla asfáltica, los cuales son altamente sensibles a la temperatura y a la razón de aplicación de carga debido a la naturaleza visco-elástica del asfalto. Los ensayos dinámicos permiten la caracterización de la rigidez de las mezclas y determinar de forma más precisa la respuesta de la mezcla asfáltica bajo diferentes combinaciones de esfuerzos y temperaturas. Igualmente se evalúan y comparan dos tipos de asfalto observando sus desempeños mecánicos, como son el asfalto convencional (60/70) y un asfalto duro (20/30) que se obtiene al incorporar 20% en peso de asfaltita al asfalto 60/70.

En el primer capítulo se define el concepto de módulo dinámico y algunos resultados de estudios realizados sobre el tema en mezclas asfálticas.

En el segundo capítulo se puntualizan los materiales y los ensayos realizados a la combinación asfalto-asfaltita, igualmente se describen las características de las probetas realizadas desde su diseño hasta los ensayos efectuados después de compactadas, indicando su granulometría y nomenclatura utilizada.

En el tercer capítulo se encuentran los resultados de los ensayos que se realizaron y un análisis de los resultados observando el comportamiento del asfalto (60/70) y el asfalto (20/30) en dos tipos de mezclas MDC-2 y M1 a diferentes temperaturas y frecuencias de carga. En el cuarto capítulo se presentan las conclusiones encontradas con el desarrollo de este proyecto y en capítulo final se hacen algunas recomendaciones para mejorar próximas investigaciones.

Por último se estandarizó el procedimiento de ensayo de módulo dinámico en mezclas asfálticas, al igual que un protocolo de manejo del equipo MTS-810 (capacidad del actuador 10 TN y capacidad de la celda de carga de 2.5 TN)

## 1. MARCO TEÓRICO

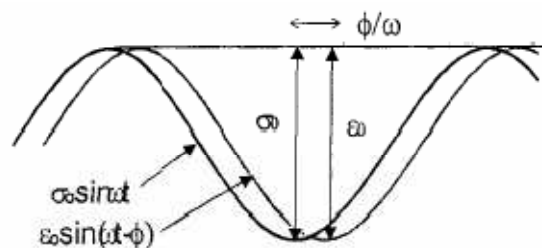
### 1.1 MÓDULO DINÁMICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

#### 1.1.1 Módulo Dinámico

El módulo dinámico es la relación entre esfuerzo y deformación del material bajo una carga aplicada; además es considerado la magnitud del módulo complejo  $|E^*|$ . [1] Esta relación depende de la temperatura y la velocidad a la que se aplica el esfuerzo obtenido, a altas temperaturas y tiempos mayores de aplicación de carga valores de módulos bajos, mientras que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de la carga el módulo será alto. [2]

Las pruebas de módulo dinámico de materiales asfálticos normalmente son conducidas usando una carga uniaxial (carga perpendicular al área y centrada), y aplicando el modelo de tensión sinusoidal. (Ver Figura 1.1). [1]

**Figura 1.1.** Módulo dinámico



*Fuente:  $E^*$  Dynamic modulus (Test protocol- Problems and Solutions) [1]*

Las variables de salida primarias de la prueba son el módulo dinámico, y el ángulo de fase ( $\phi$ ) [1]. El cálculo del modulo dinámico se expresa utilizando la relación de esfuerzo y deformación, así:

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0}$$

Donde EL ESFUERZO ( $\sigma_0$ ) se define como la relación entre  $|P_0|$  que es la máxima carga promedio durante los últimos cinco ciclos y el área (A) del espécimen cilíndrico, y la DEFORMACIÓN POR UNIDAD ( $\epsilon_0$ ) también es una relación entre la máxima deformación promedio  $|\Delta|$  durante los últimos cinco ciclos y (L) es la distancia entre medidas de la deformación. [3]

El ángulo de fase es un indicador directo de las propiedades elásticas viscosas del material y se calcula como una diferencia entre el tiempo del máximo esfuerzo y el tiempo entre la máxima deformación, Para materiales puros viscosos,  $\phi = 90^\circ$ , para materiales puramente elásticos  $\phi = 0^\circ$  y materiales visco-elásticos  $0 < \phi < 90$ . [1]

#### 1.1.1.1 Factores que Influyen en el Módulo Dinámico

Existen diversos factores que afectan al módulo dinámico de las mezclas asfálticas como son:

- **Tipo y contenido de asfalto**

El asfalto es un factor influyente en el módulo dinámico, debido a su comportamiento visco-elástico a las diferentes temperaturas e intensidades de carga a la que es sometida la mezcla. Igualmente el aumento del contenido de asfalto dentro de una mezcla cambia la rigidez, ya que el asfalto tiene una menor resistencia que el agregado y al existir un aumento en el contenido tiende a disminuir el módulo.

- **Temperatura**

La temperatura de servicio afecta principalmente al asfalto que es uno de los componentes de la mezcla. A bajas temperaturas se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla. [4]

- **Tipo de Agregado**

Las mezclas asfálticas están constituidas en su mayoría por agregado grueso y fino proveniente de distintas fuentes o yacimientos contando con características únicas de resistencia. Este componente es de gran importancia para el correcto funcionamiento del conjunto y juega un papel importante en la determinación del modulo dinámico, sin embargo la falta de calidad en alguno de los agregados puede afectar significativamente la rigidez de la mezcla, además el agregado debe ser capaz de soportar la carga del tráfico y transmitirla a la subbase en unidades reducidas, con el fin de garantizar un buen funcionamiento mecánico de la estructura del pavimento.

#### **1.1.1.2 Métodos para La Obtención del Módulo Dinámico en Laboratorio**

La estimación del módulo dinámico a través de un método de laboratorio se realiza empleando diferentes equipos capaces de aplicar cargas dinámicas o vibraciones. Estos equipos procesan los datos obtenidos mediante la implementación de un software que extrae datos como cargas y deformaciones. Las pruebas realizadas con estos equipos son no destructivas permitiendo que se pueda ensayar las mismas probetas posteriormente.

Existen varias pruebas para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas. Las muestras son sometidas a deformación en su rango lineal bajo cargas repetidas o cargas con deformación controlada. Los métodos de ensayo se clasifican así: [5]

- Flexión simple: ensayo con carga en el punto central o en tres puntos, ensayo de fatiga por flexión en cuatro puntos.
- Flexión apoyada
- Axial directo: Tensión uniaxial, tensión-Compresión.
- Ensayo diametral.
- Ensayo triaxial.
- Ensayo de propagación de la fractura: ensayo de fatiga por tracción directa en modo estático y dinámico.

### **1.1.2 Estudios Realizados del módulo dinámico en mezclas asfálticas en Colombia [6]**

En el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura. En Colombia, los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología.

En mezclas drenantes modificadas con caucho como material granular fino en una mezcla de tipo MDC-2 no se presentan ventajas con relación a las mezclas convencionales a temperaturas normales después de realizarse una caracterización dinámica que comprendió ensayos de módulos dinámicos, deformación permanente (ahuellamiento) y fatiga. Las mezclas cerradas modificadas con plásticos del tipo homopolímero presentan incremento de los módulos dinámicos (a temperaturas de 10°, 20° y 30°C) a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo. Similares observaciones se realizaron cuando se emplean desperdicios elastoméricos para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla cerrada 0/10 y cuando se adicionan desechos plásticos a mezclas drenantes. Para las mezclas mencionadas anteriormente son pocos los desarrollos investigativos del comportamiento dinámico de una mezcla modificada que se han realizado en comparación con los de resistencia bajo carga monotónica o de comportamiento térmico (Marshall, penetración, punto de ablandamiento y viscosidad). Lo anterior es debido a que no todas las instituciones cuentan con los equipos necesarios para medir propiedades dinámicas.

## **1.2 ASFALTOS MODIFICADOS CON ASFALTITA**

Las asfaltitas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y fractura conoidal en las formas frescas, dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. [7]

La asfaltita es un verdadero modificador de asfaltos, de probada eficiencia, muy fácil de usar, significando una solución económica para problemas de diseño de pavimentos. La asfaltita es realmente compatible con el asfalto, de tal modo que se obtienen verdaderas soluciones sin ningún tipo de segregación, se incorpora fácilmente tanto al asfalto como a las mezclas, mejorando en gran medida las propiedades del asfalto con pequeñas cantidades agregadas y le permite trabajar con las operaciones tradicionales de mezclado en caliente, igualmente se obtiene para la mezcla un menor

ahuellamiento, desprendimiento y susceptibilidad térmica que perfecciona el desempeño en un amplio rango de condiciones climáticas, una adherencia asfalto-agregado y mayor resistencia a la acción deteriorante del agua produciendo mayor capacidad de soporte de cargas [8]

En Colombia la asfaltita que es muy similar a la gilsonita se presenta en algunos sectores del departamento de Santander, en cercanías del municipio del playón, en la región denominada “La Tigra” en donde se encuentran los tres tipos de asfaltitas que son: Grahamita, Glance picth y Gilsonita. Igualmente existen yacimientos de este material en Argentina e Inglaterra donde se han realizado diferentes estudios que dan una repuesta o resultado próximo a lo que en este proyecto se busca, estos estudios han estipulado los aspectos que se mejoran en el funcionamiento de una mezcla bituminosa con la adición de asfaltita en determinadas cantidades y estos son mejores a mayor cantidad de asfaltita adicionada. Entre estos beneficios o aspectos mejorados están, una mayor estabilidad Marshall, y otras características como el punto de ablandamientos y ductilidad además de un menor ahuellamiento. [9]

### **1.3 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

La mezcla asfáltica en caliente es uno de los tipos de mezcla mas usados y se emplea para diferentes tipos de construcciones como carreteras principales y aeropuertos, igualmente existe una subdivisión de esta tipología con diferentes características. La mezcla asfáltica debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, entre otras. [10]

### **1.3.1 Mezcla Densa en Caliente (MDC-2)**

La mezcla MDC-2, puede variar el tipo de asfalto (convencional o modificado), las proporciones de el agregado y el contenido de ligante. Esta mezcla es efectiva para soportar un tráfico moderado pero presenta algunos inconvenientes de duración y firmeza para solicitaciones de carga de tráfico mayores.

### **1.3.2 Mezcla Abierta en Caliente (M1)**

Esta mezcla es una subdivisión de los microaglomerados discontinuos en caliente, también puede utilizar asfalto modificado o convencional. En comparación con las MDC el porcentaje de vacíos de esta mezcla es mayor o igual al 10%, después de compactada. Una ventaja del empleo de la mezcla abierta en caliente es la disminución de la sonoridad producido por la rodadura del vehículo sobre el pavimento asfáltico.

**[11]**

## **2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

### **2.1 MATERIALES EMPLEADOS**

#### **2.1.1 Agregado Mineral**

##### **2.1.1.1 Procedencia**

Se utilizaron dos fuentes de agregado mineral. La primera fuente proviene del río Chicamocha; sector conocido como Pescadero. La segunda fuente proviene del Río negro, ubicado en Rionegro, Santander.

##### **2.1.1.2 Ensayos Realizados**

Los agregados cumplen con los requisitos necesarios estipulados en la norma INVIAS para el diseño de mezclas densas en caliente MDC-2 Y mezclas abiertas M1. No se realizó ninguna caracterización de los agregados debido a que estas fuentes de material han sido estudiadas por proyectos anteriores en la Universidad Industrial de Santander. [9,12]

#### **2.1.2 Asfalto**

##### **2.1.2.1 Asfalto de Refinería**

Se utilizó asfalto 60/70 facilitado por la empresa PAVIANDI. No se realizaron pruebas a este asfalto ya que ha sido caracterizado anteriormente y los resultados fueron tomados de investigaciones realizadas en la Universidad Industrial de Santander [9].

### **2.1.2.2 Asfalto Natural (Asfaltita)**

Con base a la investigación realizada en la Universidad Industrial de Santander **“Mezclas de Asfaltos Naturales con Asfalto de Refinería para Producir Asfaltos Duros en la Elaboración de mezclas con un Módulo alto” [9]**, se ubicó el yacimiento de asfalto natural (asfaltita), encontrado en las cercanías del Playón, en una región conocida como “La Tigra”. Para la extracción del material se contó con la colaboración de dos geólogos de la Universidad Industrial de Santander, quienes identificaron las muestras teniendo en cuenta el aspecto físico de la asfaltita, la cual se presenta como una roca sólida de color negro, con peso específico bajo, con lustre opaco a brillante y otras características que la distinguen fácilmente.

### **2.1.2.3 Pruebas Realizadas a la Combinación de Asfalto - Asfaltita**

Se tomo como porcentaje óptimo de asfaltita el 20% [9] para adicionarle al asfalto logrando las características semejantes a las del asfalto 20/30.

Para realizar la combinación fue necesario pulverizar la asfaltita, utilizando la máquina de los ángeles y posteriormente se pasó la muestra por el tamiz #100; esto se realizó con el fin de facilitar la mezcla asfalto-asfaltita y obtener un material más homogéneo.

Para comprobar si el porcentaje óptimo sugerido en el proyecto de investigación desarrollado en la UIS [9] era el adecuado se hicieron ensayos de penetración, ductilidad y punto de ablandamiento, a la combinación de asfalto-asfaltita. Estos ensayos se realizaron siguiendo las pautas de la norma del Instituto Nacional de Vías.

**Fotografía 2.1.** Proceso realizado a la asphaltita



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

**2.1.2.3.1 Ensayo de Penetración (Norma INV E-706-07)**

**Fotografía 2.2.** Ensayo de penetracion



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

### 2.1.2.3.2 Ductilidad (Norma INV E-702-07)

**Fotografía 2.3.** Ensayo de ductilidad



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

### 2.1.2.3.3 Punto de Ablandamiento (Norma INV E-712-07)

**Fotografía 2.4.** Ensayo de punto de ablandamiento



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

**Nota:** Para ver los resultados de los ensayos realizados a la combinación asfalto-asfaltita remitirse al capítulo 3.

## 2.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS

Se elaboraron dos tipos de mezclas asfáltica: la primera una mezcla densa en caliente tipo II (MDC-2), la segunda fue una mezcla abierta en caliente (M1). Las gradaciones de los diseños de estas mezclas se obtuvieron de acuerdo a lo estipulado en la norma INVIAS, y los porcentajes de asfalto utilizados fueron escogidos con base a los diseños de mezclas asfálticas utilizados en la región.

La granulometría empleada para las mezclas MDC-2 y M1, es el valor promedio entre los límites superior e inferior, de las granulometrías establecidas en las normas INVIAS (E450-07 y E452-07).

En las tablas 2.1 y 2.2 se pueden apreciar los rangos granulométricos estipulados y el porcentaje de asfalto para la fabricación de las probetas con un peso total de 2500 gramos.

**Tabla 2.1.** Rangos granulométricos empleados

TAMIZ N°	PORCENTAJE QUE PASA EMPLEADO					
	INV E 450-07		INV E 452-07		PROYECTO	
	MDC-2		M1		MDC-2	M1
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior	Promedio	Promedio
3/4	-	100	-	-	100,0	-
1/2	80	95		100	87,5	100
3/8	70	88	75	97	79,0	86
N°4	49	65	15	28	57,0	21,5
N°10	29	45	11	22	37,0	16,5
N°40	14	25	8	16	19,5	12
N°80	8	17	-	-	12,5	-
N°200	4	8	5	8	6,0	6,5

**Tabla 2.2.** Porcentajes de asfalto empleados

Mezcla	% Asfalto
MDC-2	4,5
M1	5

**Tabla 2.3.** Dosificación de las mezclas

Porcentaje de Asfalto (%)	4,50%	5,00%
Peso tamiz	MDC-2 (gr)	M1(gr)
3/4	-	-
1/2	298,4	-
3/8	202,9	332,5
Nº4	525,3	1531,9
Nº10	477,5	118,8
Nº40	417,8	106,9
Nº80	167,1	-
Nº200	155,2	130,6
Pasa 200	143,3	154,4
Asfalto	112,5	125,0
Total	2500	2500

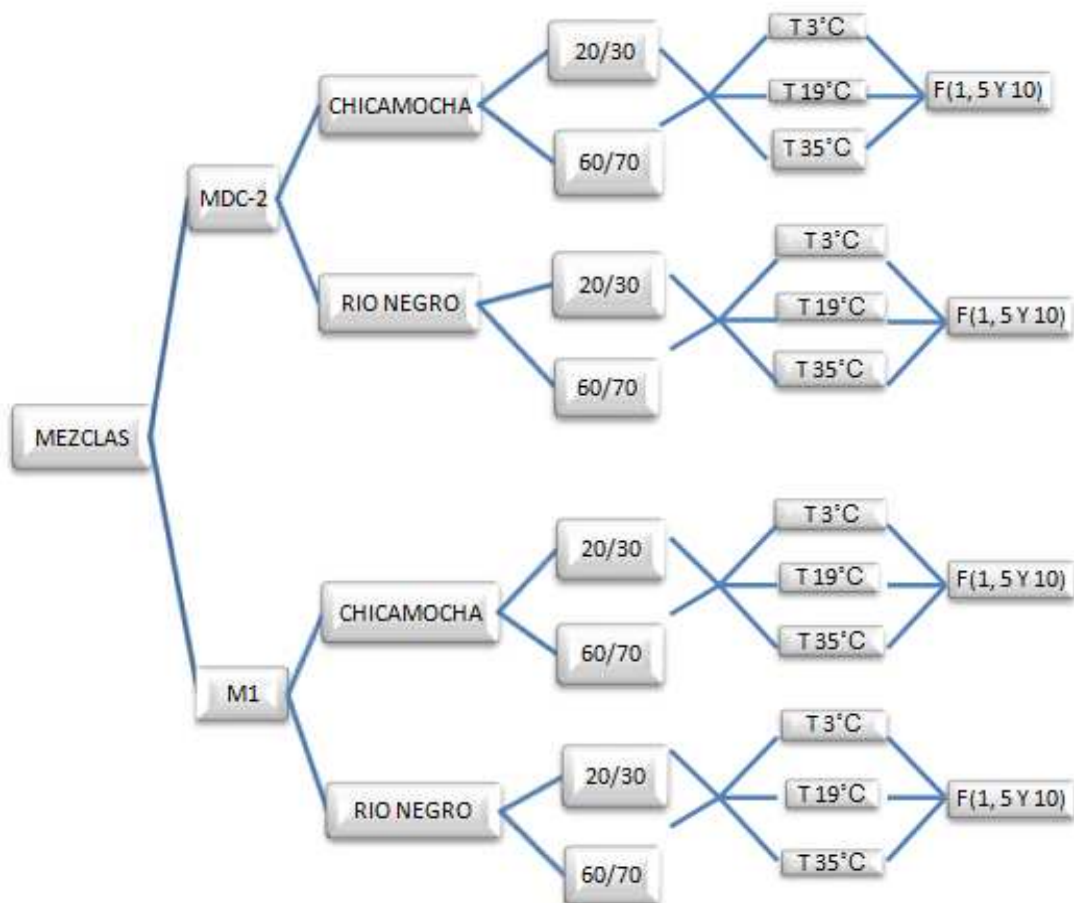
### 2.2.1 Metodología usada para la fabricación de probetas

Las probetas fueron elaboradas según la metodología descrita en la norma INVIAS “Resistencia a la Compresión Simple de Mezclas Bituminosas” (E-747-07). Cada una de las probetas tiene un peso total de aproximadamente 2500 gramos. Este procedimiento consistió en la fabricación de probetas cilíndricas de diámetro de 4” (10.16 cm), y altura aproximada de 5” (12.7 cm).

- **Número de probetas**

Se elaboraron 8 diseños de mezcla distribuidos así: la mitad fueron de mezcla tipo MDC-2 y la otra mitad de tipo M1, con asfalto 20/30 y 60/70. Para lograr una buena precisión en el análisis de los datos se realizaron tres replicas de cada una de ellas. En total se realizaron 24 probetas, que serán ensayadas a tres temperaturas y a diferentes rangos de frecuencia de carga.

**Figura 2.2.** Esquema de los factores de diseño de las mezclas



- **Temperaturas de mezclado y compactación (INV E 747-07)**

La temperatura de mezcla y compactación fue la adecuada para que su viscosidad en el proceso de mezcla sea de  $170 \pm 20$  cSt ( $85 \pm 10$ s SF) y en el de compactación de  $280 \pm 30$  cSt ( $140 \pm 15$ s SF). Para la elaboración de las probetas con asfalto 60/70 y asfalto 20/30, se garantizó que la temperatura de mezclado y compactación fueran de  $160^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

- **Compactación de las Probetas (INV E 747-07)**

La compactación se realizó utilizando una Máquina Universal de capacidad máxima 40 Ton, comprendida de una prensa hidráulica con un pistón superior.

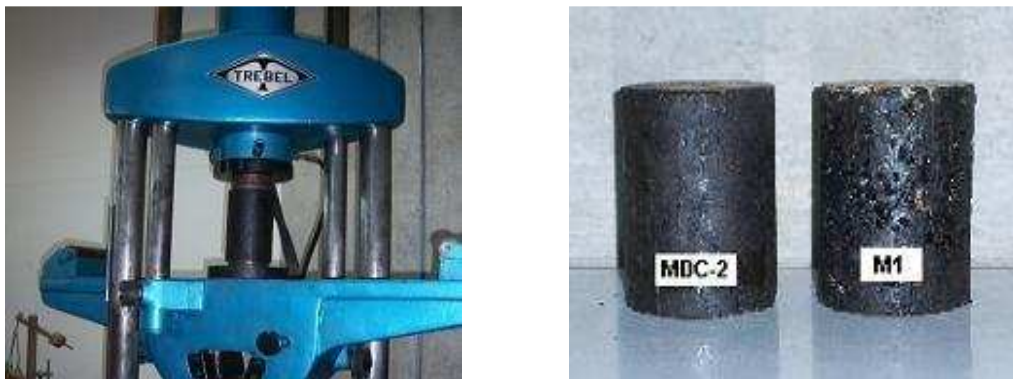
El proceso de compactación inicia engrasando y calentando los moldes de 4" de diámetro y los pistones de compactación hasta que alcancen la temperatura de este proceso, después se retira el molde del horno y se vierte la mitad de la mezcla en el molde aplicando 25 golpes con una barra de bordes redondeados distribuyendo 15 golpes en la periferia y 10 golpes en el centro, seguidamente se vierte el resto de la mezcla, aplicando los 25 golpes en forma similar, en la parte superior de la mezcla se le dará un acabado plano con la ayuda de la barra en posición horizontal, pasándolo un par de veces en forma horizontal sobre esta superficie. Finalmente, se colocó el pistón superior sobre la mezcla con una precarga de asentamiento de 8 kN, con el objeto de asentar inicialmente la mezcla; se comienza la compactación definitiva mediante la aplicación de una carga creciente, regulando la velocidad lo mas uniformemente posible, hasta llegar a alcanzar en un tiempo de 2 a 3 minutos, una presión máxima de 173 kN, manteniendo esta carga constante durante 2 minutos.

**Fotografía 2.5.** Calentamiento y mezclado del material



*Fuente: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

**Fotografía 2.6.** Compactación y fabricación de las probetas



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS

### 2.3.1 Nomenclatura

Cada probeta está identificada con el porcentaje de asfalto, el tipo de asfalto, el tipo de mezcla y la fuente de donde provienen los agregados. El número de replicas será identificado como **R1**, **R2** y **R3**.

En la tabla 2.4 se puede apreciar los factores utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica.

**Tabla 2.4.** Factores de diseño de las mezclas

PORCENTAJE DE ASFALTO (C)		TIPO DE ASFALTO (T)		GRADACIÓN (G)		FUENTE DEL AGREGADO (F)	
<b>C1</b>	4.5%	<b>T1</b>	20/30	<b>G1</b>	MDC-2	<b>F1</b>	CHICAMOCHA
<b>C2</b>	5%	<b>T2</b>	60/70	<b>G2</b>	M1	<b>F2</b>	RIO NEGRO

**Figura 2.3.** Nomenclatura de las probetas



### 2.3.2 Geometría

La geometría de cada una de las probetas corresponde a su diámetro y altura promedio, ésta ha sido determinada realizando tres mediciones a cada una de ellas. La geometría de cada probeta se pueden observar en el Anexo A.1.

**Tabla 2.5.** Geometría de las probetas con asfalto (20/30)

PROBETA	DIMENSIONES	
	Diámetro (mm)	Altura Promedio (mm)
1_1111	101.6	130.72
2_1112	101.6	130.96
11_2121	101.6	134.06
12_2122	101.6	133.39

**Tabla 2.6.** Geometría de las probetas con asfalto (60/70)

PROBETA	DIMENSIONES	
	Diámetro (mm)	Altura Promedio (mm)
5_1211	101.6	132.95
6_1212	101.6	133.53
15_2221	101.6	131.45
16_2222	101.6	132.93

## 2.4 PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS

### 2.4.1 Gravedad Específica Bulk

#### 2.4.1.1 Gravedad Específica Bulk De Mezclas MDC-2 (Norma INV E-733-07)

Este procedimiento se realiza tomando el peso de la probeta seco y posteriormente sumergiendo la probeta en un baño de agua a 25°C y se anota su masa bajo el agua. Se seca rápidamente con un trapo húmedo y se pesa al aire. La diferencia entre las dos masas se emplea para medir la masa de un volumen igual de agua a 25°C.

La gravedad específica bulk de la probeta se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa en gramos de la probeta seca en el aire.

B – C = Masa del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25°C.

B = Masa en el aire del espécimen saturado superficialmente seco.

C = Masa del espécimen en agua

#### 2.4.1.2 Gravedad Específica Bulk De Mezclas M1

Este procedimiento se realiza tomando el peso seco de la probeta y dividiéndolo sobre su volumen. El volumen se calcula con el diámetro y tomando el promedio de 3 alturas en diferentes puntos de la probeta.

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \frac{W_{seco}}{\text{Volumen}}$$

### Fotografía 2.7. Ensayo gravedad específica bulk



FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila

#### 2.4.2 Gravedad Máxima Teórica (Gmm) (Norma INV E 735-07)

Inicialmente una muestra de mezcla asfáltica suelta, seca al horno y previamente pesada se coloca en un frasco de vacío tarado. Se agrega suficiente agua a una temperatura de 25° C, hasta llevar la muestra a un estado sumergido. Se le aplica vacío gradualmente mediante una bomba, para reducir la presión residual en el frasco de vacío, se sostiene por un período de  $15.0 \pm 2$  min. Al final del período de aplicación del vacío este se retira gradualmente. El volumen de la muestra de mezcla asfáltica es obtenido llenando el frasco de vacío hasta el nivel de enrase con agua y pesando en el aire; la temperatura y el peso, son medidos en este momento. A partir de estas medidas de peso y volumen se calcula la gravedad específica o densidad a 25° C. El Gmm de la probeta se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

A = Masa en gramos en el aire de la muestra seca en el horno

D = Masa del recipiente lleno con agua a 25°C.

E = Masa del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C.

**Fotografía 2. 8.** Ensayo gravedad máxima teórica (Gmm)



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

### **2.4.3 Porcentaje de vacíos de aire en mezcla asfálticas compactadas densas y abiertas (Normas INV E 736-07)**

Este procedimiento se refiere a la determinación del porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas densas y abiertas compactadas. Se determina tanto la gravedad específica Bulk como la gravedad específica máxima teórica, sobre porciones de la misma (900 gramos) de mezcla asfáltica compactada; el cálculo del porcentaje de vacíos de aire respecto al volumen total se realiza así:

$$V_a = 100 - \%G_{mm}$$

$$\%G_{mm} = \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

Donde:

$V_a$  = Porcentaje de vacíos de aire en la probeta respecto al volumen.

$VMA$  = Vacíos en el agregado mineral

$VFA$  = Vacíos llenos de asfalto.

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima teórica.

$G_{mb}$  = Gravedad específica Bulk de la probeta.

$G_{sb}$  = Gravedad específica del agregado

$P_s$  = Porcentaje del agregado respecto al peso total de la mezcla.

**Fotografía 2. 9.** Proceso de extracción de vacíos



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

#### **2.4.4 Determinación del Módulo Dinámico (Norma INV E 754-07)**

El ensayo seleccionado para estimar el módulo dinámico haciendo uso del equipo existente en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil es el ensayo de Compresión axial.

El equipo empleado para realizar los ensayos de módulo dinámico fue una Máquina Universal MTS-810 (Capacidad del actuador de 10 TN y capacidad de la celda de carga de 2.5 TN), para cargas dinámicas con un generador de funciones que puede producir una onda de forma de medio seno inverso que no produzca daño sobre la muestra, la MTS-810 consta de 4 partes principales: un sistema hidráulico, la torre de enfriamiento, el panel de control, el sistema de adquisición de datos.

Las temperaturas y frecuencias de ensayo fueron (3°C, 19°C, 35°C) y (1 Hz, 5 Hz, 10 Hz) respectivamente. Para asegurar la temperatura de 3°C se utilizó una nevera, para la temperatura de 19°C la temperatura del salón donde se realizaron los ensayos proporcionaba dicha temperatura y con la temperatura de 35°C fue necesario emplear un horno. Para verificar que las probetas alcanzaran la temperatura ideal de ensayo se empleó una probeta de referencia o testigo con un acople térmico en el centro.

La MTS-810 no cuenta con el dispositivo de control de temperatura adecuado, es decir la cámara de temperatura; por tal motivo se hizo necesario controlar que el tiempo de ensayo en cada temperatura y frecuencia de una probeta, no superara los 2 minutos. A partir del momento en que las probetas eran removidas del mecanismo donde se controlaba la temperatura era necesario vigilar que no se excediera este tiempo estipulado en la norma INVIAS (E 754-07) para asegurar que no se produjera una diferencia de temperatura mayor que la recomendada por ella. Finalizada la aplicación de carga la probeta era devuelta al equipo de control de temperatura durante mínimo media hora antes de ser sometida a otra aplicación de carga a diferente frecuencia.

El procedimiento de ensayo consistió en:

1. Acondicionar las probetas a la temperatura del ensayo.
2. Se adapta el extensómetro a una abrazadera formando un dispositivo que aumenta la longitud útil (longitud de la abrazadera, abertura fija del extensómetro y la abertura inicial del extensómetro) de deformación de toda la probeta.

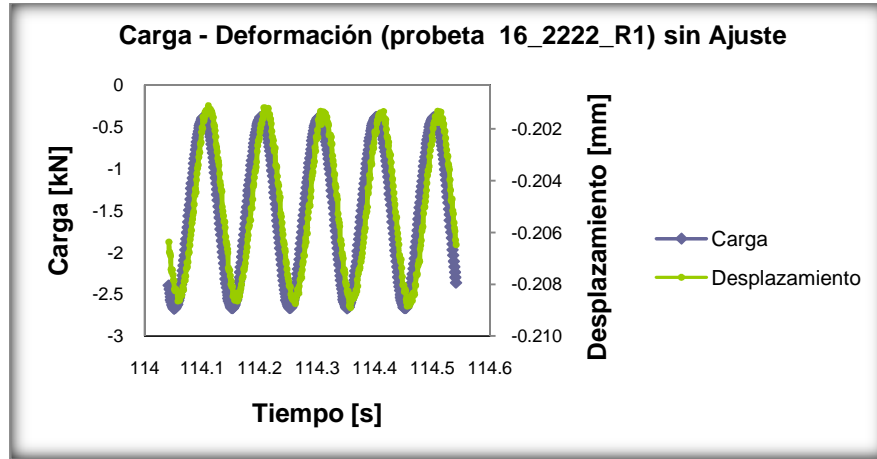
**Fotografía 2.10.** Longitud útil de deformación



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

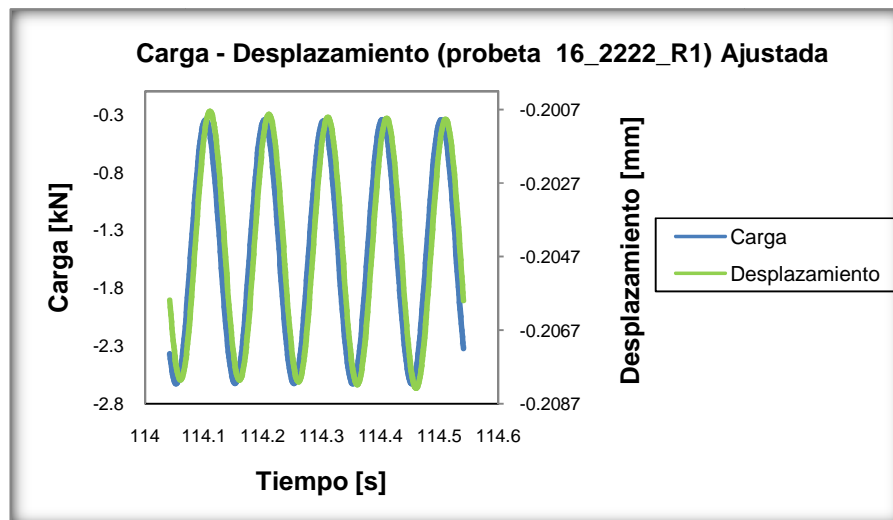
3. Se coloca la probeta dentro del aparato de carga y se conecta el dispositivo para medir la deformación; igualmente se coloca los platos de carga sobre las caras de la probeta. Se ajusta y calibra el sistema electrónico de medida.
4. Se aplica un esfuerzo de compresión axial sinusoidal (medio seno inverso) a las probetas a una temperatura y frecuencia de carga dados controlando que la deformación no sobrepasara de 100 microstrain. Se mide la respuesta resultante recuperable de la deformación axial de las probetas en los últimos 5 ciclos.

**Gráfica 2.1.** Carga vs deformación sin ajuste a 35°C y frecuencia de 10Hz



5. se empleó para calcular el módulo dinámico una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Mediante una curva de ajuste de la forma  $P(t) = A + B * \cos (wt + \delta)$  método numérico de mínimos cuadrados, se ajustaron las curvas de carga y desplazamiento de cada ensayo obtenido en el laboratorio.

**Gráfica 2.2.** Carga vs deformación ajustado a 35°C y frecuencia de 10 Hz



6. Con el ajuste de las curvas se calcula el módulo dinámico tomando la amplitud de la carga dividida en el área total de la probeta sobre la amplitud de la deformación dividida en la deformación unitaria de la probeta correspondiente a la longitud útil.

**Fotografía 2.11.** Ensayo módulo dinámico en la MTS-810



*FUENTE: Archivos personales Alejandra Álvarez y Naira Dávila*

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 ENSAYOS REALIZADOS AL ASFALTO (20/30)

##### 3.1.1 Penetración

El porcentaje de asfaltita utilizado hace que el asfalto modificado presente penetraciones bajas permitiendo que sea calificado como un asfalto de consistencia más dura a la temperatura de referencia. Los valores de penetración de dos muestras se determinaron promediando tres penetraciones tomadas en cada una de ellas.

**Tabla 3.7.** Penetración asfalto modificado

MUESTRA	T°C DE ENSAYO	PENETRACIÓN (1/10)mm	PENETRACIÓN PROMEDIO
Muestra 1	25°C	22	21,7
	25°C	21	
	25°C	22	
Muestra 2	25°C	25	22,7
	25°C	23	
	25°C	20	

##### 3.1.2 Ductilidad

**Tabla 3.8.** Ductilidad asfalto modificado

MUESTRA	DUCTILIDAD (cm)
Muestra 1	26
Muestra 2	27,5

El asfalto ensayado, por ser un asfalto de mayor dureza presenta una ductilidad promedio de 26.75 cm, esto indica la poca susceptibilidad que puede tener a cambios de temperaturas aunque asfaltos más dúctiles pueden poseer mejores propiedades aglomerantes.

### 3.1.3 Punto de Ablandamiento

El punto de ablandamiento es la temperatura en la cual el asfalto pasa de una condición más dura a una de mayor fluidez, en las muestras utilizadas en el proyecto el punto de ablandamiento se encuentra alrededor de 57 °C.

## 3.2 ENSAYOS REALIZADOS A LAS PROBETAS

### 3.2.1 Gravedad específica bulk, Gravedad máxima teórica, VMA, porcentaje de vacíos y VFA para mezclas MDC-2

**Tabla 3.9.** Resultados de los ensayos Densidad bulk, Gmm, VMA, %Va y VFA para mezclas MDC-2

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DENSIDAD BULK	GMM	VMA	%VACIOS	VFA
MDC-2 Asfalto 20/30	1_1111_R1	2.36	2.49	15,34	5,12	66,61
	1_1111_R2	2.34	2.49	16,24	6,13	62,25
	1_1111_R3	2.34	2.49	16,21	6,09	62,41
	2_1112_R1	2.33	2.43	16,45	4,06	75,34
	2_1112_R2	2.31	2.43	17,15	4,85	71,69
	2_1112_R3	2.37	2.43	14,90	2,28	84,73
MDC-2 Asfalto 60/70	5_1211_R1	2.39	2.50	14,35	4,40	69,35
	5_1211_R2	2.37	2.50	15,07	5,20	65,50
	5_1211_R3	2,37	2,50	14,95	5,06	66,14
	6_1212_R1	2,32	2,48	16,84	6,42	61,86
	6_1212_R2	2,35	2,48	15,89	5,35	66,31
	6_1212_R3	2,32	2,48	17,01	6,62	61,10

### 3.2.2 Gravedad específica bulk, Gravedad máxima teórica, VMA, porcentaje de vacíos y VFA para mezclas M1

**Tabla 3.10.** Resultados de los ensayos Densidad bulk, Gmm, VMA, %Va y VFA para mezclas M1

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DENSIDAD BULK	GMM	VMA	%VACIOS	VFA
M1 Asfalto 20/30	11_2121_R1	2.26	2.46	19,37	8,05	58,42
	11_2121_R2	2.29	2.46	18,28	6,81	62,76
	11_2121_R3	2.3	2.46	18,01	6,51	63,88
	12_2122_R1	2.29	2.5	18,41	8,45	54,10
	12_2122_R2	2.32	2.5	17,46	7,38	57,72
	12_2122_R3	2.29	2.5	18,24	8,25	54,74
M1 Asfalto 60/70	15_2221_R1	2.3	2.5	17,87	7,84	56,12
	15_2221_R2	2.32	2.5	17,38	7,30	58,03
	15_2221_R3	2.29	2.5	18,42	8,45	54,09
	16_2222_R1	2.27	2.45	18,97	7,30	61,53
	16_2222_R2	2.28	2.45	18,61	6,89	63,00
	16_2222_R3	2.28	2.45	18,70	6,99	62,63

### 3.2.4 Módulo Dinámico de la Mezcla Asfáltica

El comportamiento dinámico fue evaluado en 24 probetas, 2 especímenes se dañaron en el transcurso de la puesta en marcha del ensayo. A continuación se muestran las tablas y gráficas de los datos promedio entre las tres probetas de cada uno de los diseños fabricados, según la fuente del agregado, clase de mezcla, tipo y contenido de asfalto. El módulo dinámico puede verse en el Anexo (B.1 - B.8). Teniendo en cuenta que se trabajó en el rango visco-elástico lineal del material se asume que para deformaciones menores a 100 microstrain no se deben presentar grandes diferencias en magnitudes en los valores del módulo dinámico en cada una de las probetas.

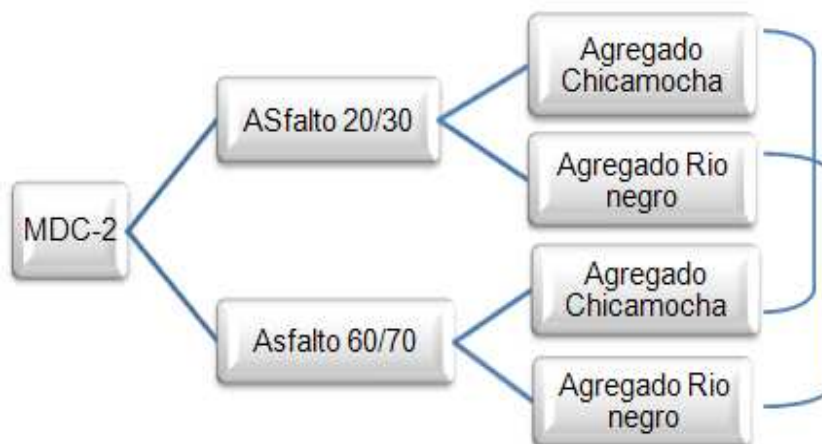
Se observó gráficamente el comportamiento dinámico de cada uno de los diseños en las diferentes combinaciones de frecuencia y temperaturas a las que se realizó el

ensayo e igualmente se analizó porcentajes de incremento o decremento de un tipo de asfalto con respecto al otro.

### 3.2.4.1 Mezclas Densas en Caliente MDC-2, Variando el Factor Tipo de Asfalto T1 (20/30) y T2 (60/70)

Se escogieron los dos diseños de mezcla que tenían tres factores iguales, es decir, contenido de asfalto, tipo de mezcla y fuente, para poder comparar el comportamiento cuando se utiliza un asfalto blando y otro más duro a diferentes temperaturas y frecuencias de carga.

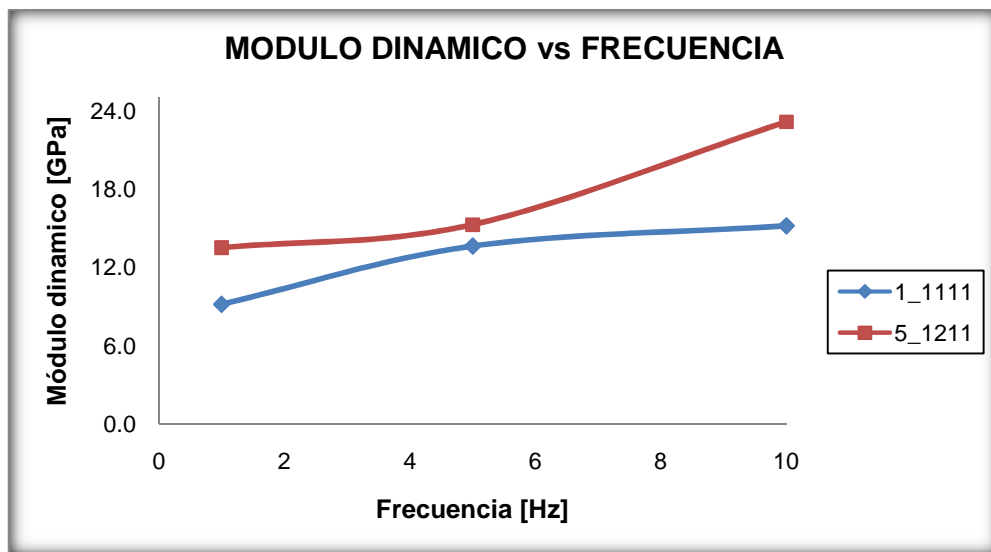
**Figura 3.4.** Esquema de análisis de mezclas MDC-2



**3.2.4.1.1 Comparación entre Diseños 1\_1111 con asfalto (20/30) y 5\_1211 con asfalto (60/70)**

- Temperatura 3°C

**Gráfica 3.3.** Módulo dinámico vs frecuencia (1\_1111 y 5\_1211) 3°C

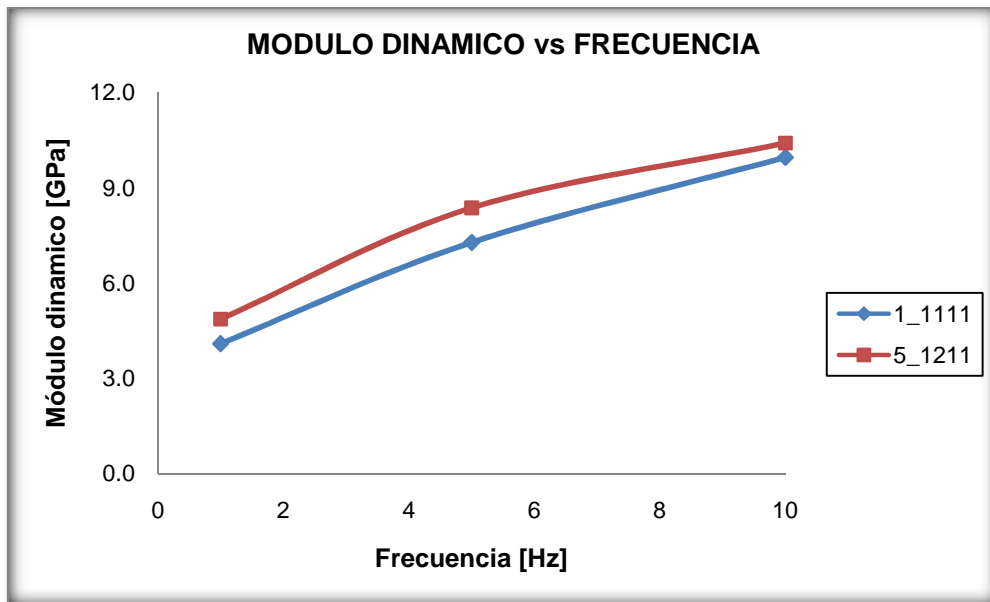


**Tabla 3.11.** Valores de módulo diseños (1\_1111 y 5\_1211) 3°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	% Va
1_1111	1	9,17	5.78
	5	13,62	
	10	15,17	
5_1211	1	13,49	5.13
	5	15,28	
	10	23,14	

- Temperatura 19°C

**Gráfica 3.4.** Módulo dinámico vs frecuencia (1\_1111 y 5\_1211) 19°C

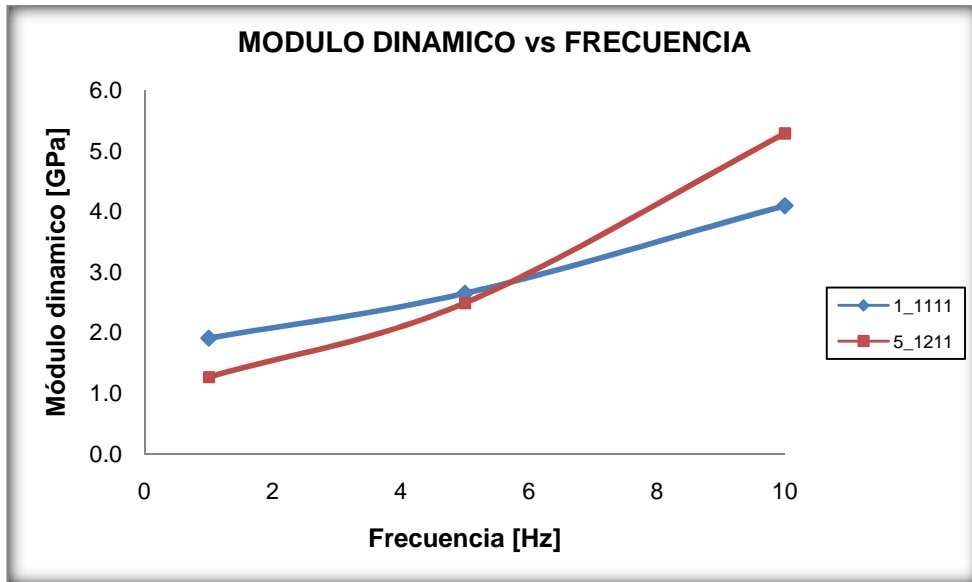


**Tabla 3.12.** Valores de módulo diseños (1\_1111 y 5\_1211) 19°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
1_1111	1	4,08	5.78
	5	7,27	
	10	9,95	
5_1211	1	4,86	5.13
	5	8,36	
	10	10,40	

- Temperatura 35°C

**Gráfica 3.5.** Módulo dinámico vs frecuencia (1\_1111 y 5\_1211) 35°C



**Tabla 3.13.** Valores de módulo diseños (1\_1111 y 5\_1211) 35°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
1_1111	1	1,908	5.78
	5	2,645	
	10	4,093	
5_1211	1	1,266	5.13
	5	2,489	
	10	5,283	

La siguiente tabla muestra el decremento de las mezclas con asfalto 20/30 y agregado Chicamocha (1\_1111), respecto a las mezclas con el mismo agregado y asfalto 60/70 (5\_1211), en cada una de las temperaturas y frecuencias.

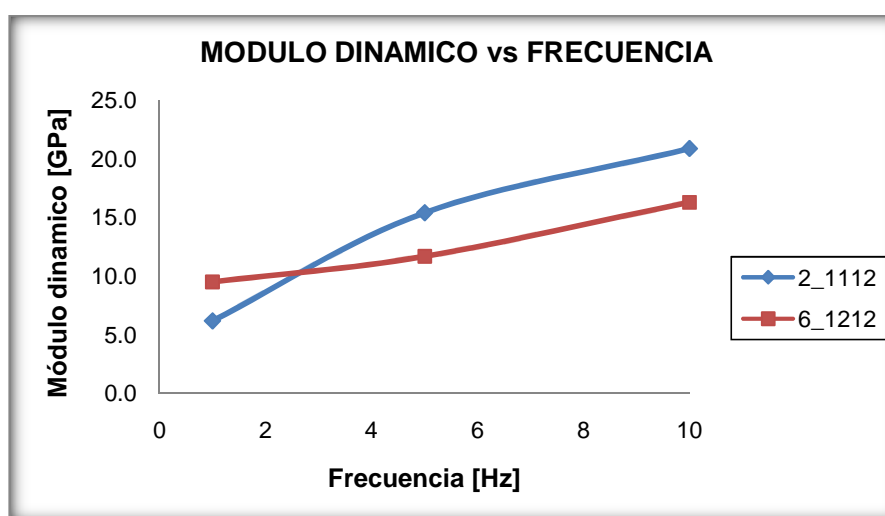
**Tabla 3.14.** Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita

% Decremento asfalto 20/30 con respecto al asfalto 60/70			
Frecuencia [Hz]	Temperatura [°C]		
	3	19	35
1	-32,0	-16,1	50,7
5	-10,9	-13,0	6,3
10	-34,4	-4,4	-22,5

### 3.2.4.1.2 Comparación entre Diseños 2\_1112 con asfalto (20/30) y 6\_1212 con asfalto (60/70)

- Temperatura 3°C

**Gráfica 3.6.** Módulo dinámico vs frecuencia (2\_1112 y 6\_1212) 3°C

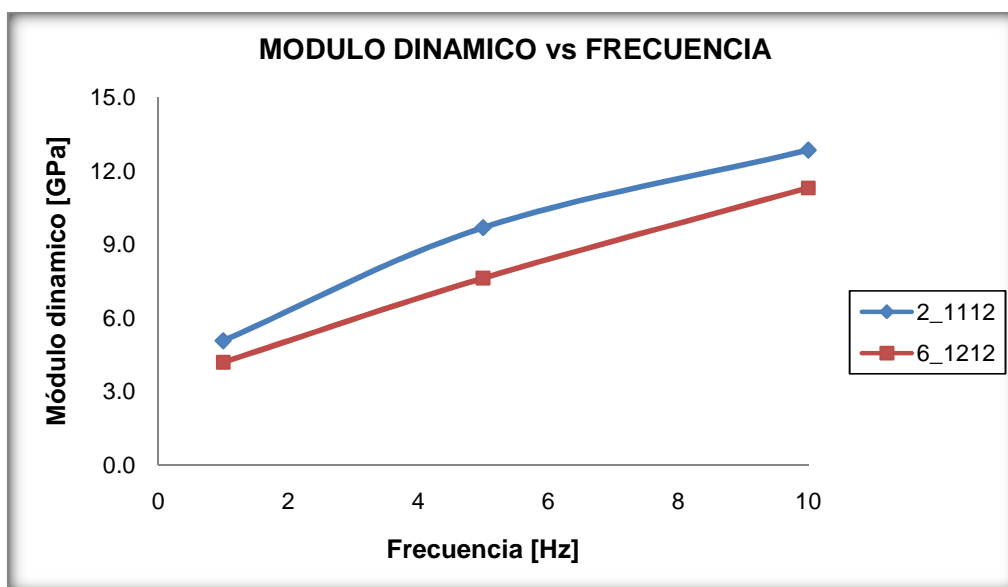


**Tabla 3.15.** Valores de módulo diseños (2\_1112 y 6\_1212) 3°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
2_1112	1	6,18	3.73
	5	15,38	
	10	20,84	
6_1212	1	9,48	5.89
	5	11,67	
	10	16,30	

- Temperatura 19°C

**Gráfica 3.7.** Módulo dinámico vs frecuencia (2\_11112 y 6\_1212) 19°C

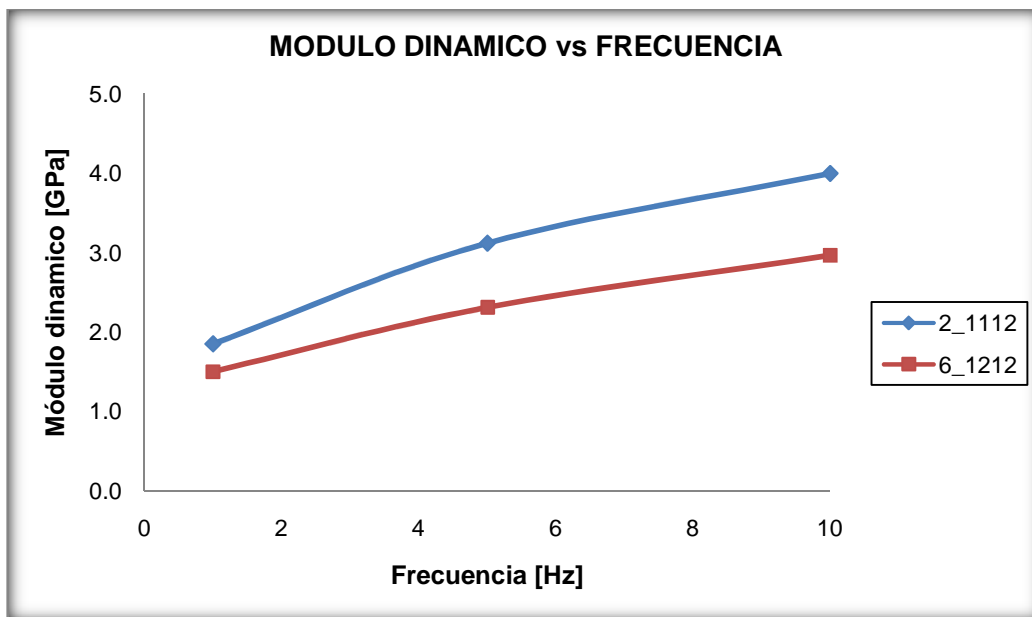


**Tabla 3.16.** Valores de módulo diseños (2\_1112 y 6\_1212) 19°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
2_1112	1	5,05	3.73
	5	9,68	
	10	12,85	
6_1212	1	4,18	5.89
	5	7,61	
	10	11,31	

- Temperatura 35°C

**Gráfica 3.8.** Módulo dinámico vs frecuencia (2\_1112 y 6\_1212) 35°C



**Tabla 3.17.** Valores de módulo diseños (2\_1112 y 6\_1212) 35°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
2_1112	1	1,85	3.73
	5	3,11	
	10	3,99	
6_1212	1	1,50	5.89
	5	2,30	
	10	2,96	

La siguiente tabla muestra el incremento de las mezclas con asfalto 20/30 y agregado Rio negro (2\_1112), respecto a las mezclas con el mismo agregado y asfalto 60/70 (6\_1212), en cada una de las temperaturas y frecuencias.

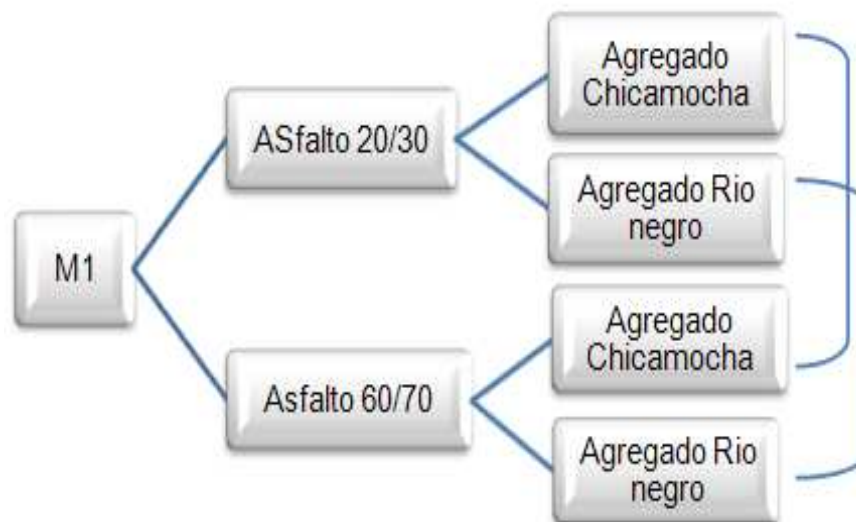
**Tabla 3.18.** Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita

% Incremento asfalto 20/30 con respecto al asfalto 60/70			
Frecuencia [Hz]	Temperatura [°C]		
	3	19	35
1	-34,8	21,0	23,2
5	31,8	27,2	35,1
10	27,9	13,6	34,8

### 3.2.4.2 Mezclas Abiertas en Caliente M1, Variando el Factor Tipo de Asfalto T1 (20/30) y T2 (60/70)

Se escogieron los dos diseños de mezcla que tenían tres factores iguales es decir, contenido de asfalto, tipo de mezcla y fuente, para poder comparar el comportamiento cuando se utiliza un asfalto blando y otro más duro a diferentes temperaturas y frecuencias de carga.

**Figura 3.5.** Esquema de análisis de mezclas M1



### 3.2.4.2.1 Comparación entre Diseños 11\_2121 con asfalto (20/30) y 15\_2221 con asfalto (60/70)

- Temperatura 3°C

Gráfica 3.9. Módulo dinámico vs frecuencia (11\_2121 y 15\_2221) 3°C

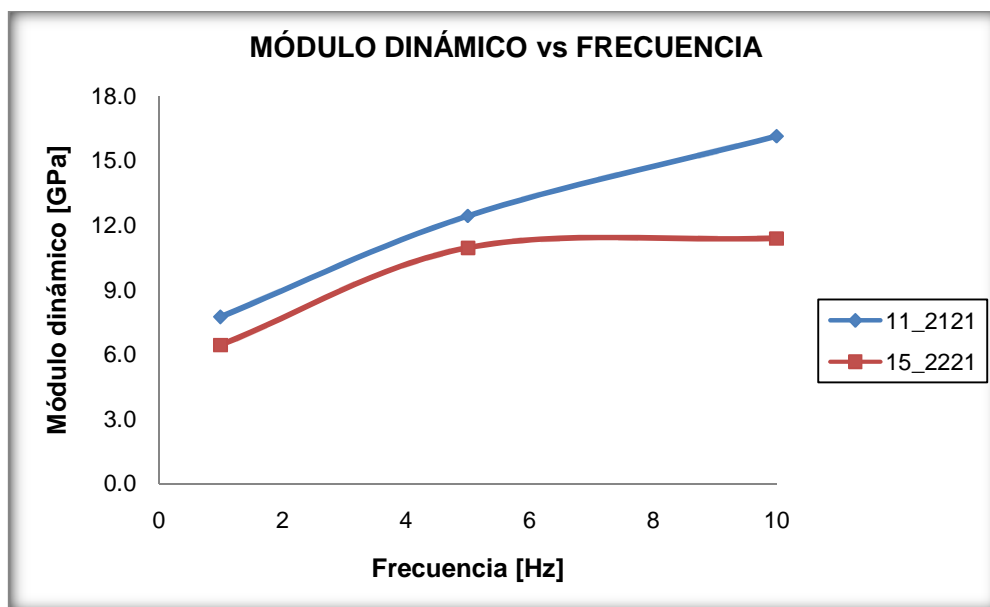
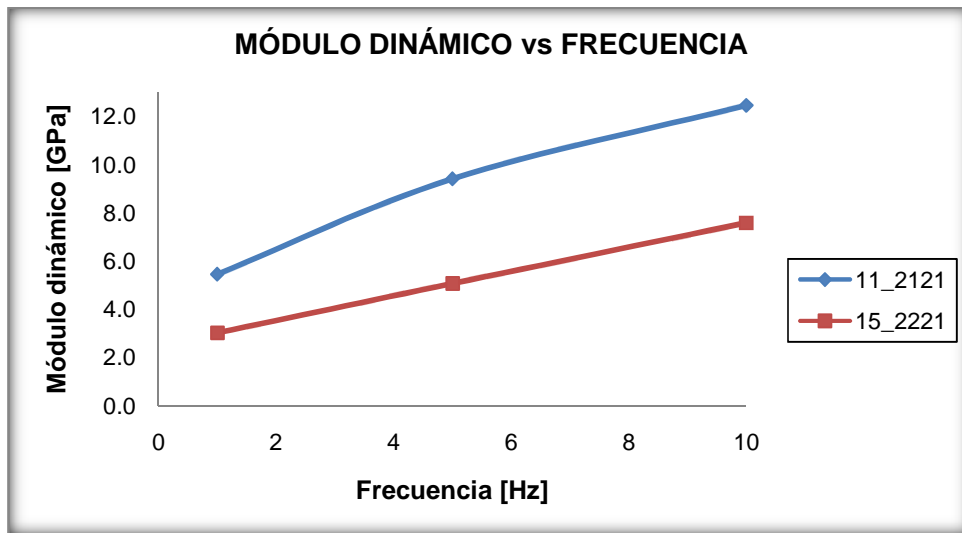


Tabla 3.19. Valores de módulo diseños (11\_2121 y 15\_2221) 3°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
11_2121	1	7.73	7.12
	5	12.42	
	10	16.12	
15_2221	1	6.44	7.86
	5	10.95	
	10	11.38	

- Temperatura 19°C

**Gráfica 3.10.** Módulo dinámico vs frecuencia (11\_2121 y 15\_2221) 19°C

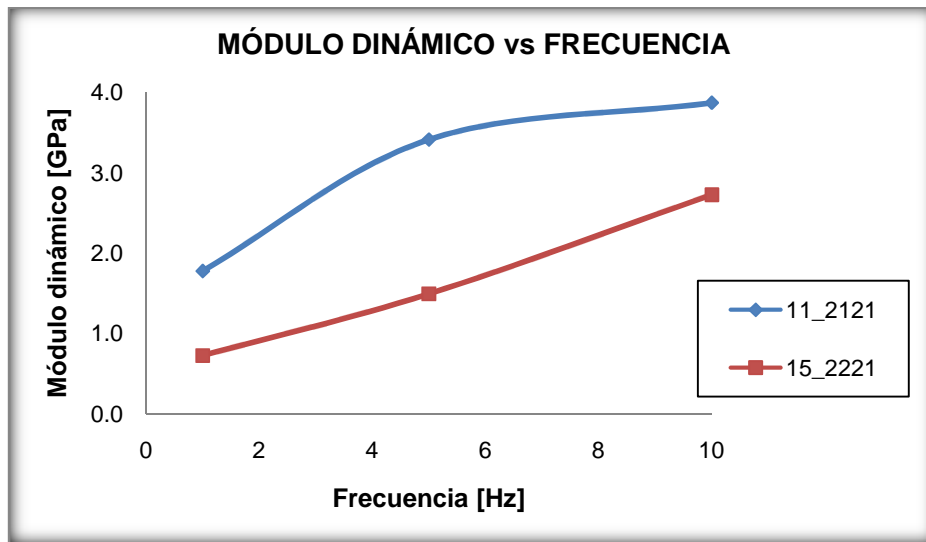


**Tabla 3.20.** Valores de módulo diseños (11\_2121 y 15\_2221) 19°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
11_2121	1	5.45	7.12
	5	9.41	
	10	12.45	
15_2221	1	3.02	7.86
	5	5.06	
	10	7.59	

- Temperatura 35°C

**Gráfica 3.11.** Módulo dinámico vs frecuencia (11\_2121 y 15\_2221) 35°C



**Tabla 3.21.** Valores de módulo diseños (11\_2121 y 15\_2221) 35°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
11_2121	1	1.77	7.12
	5	3.41	
	10	3.87	
15_2221	1	0.73	7.86
	5	1.49	
	10	2.72	

La siguiente tabla muestra el incremento de las mezclas con asfalto 20/30 y agregado Chicamocha (11\_2121), respecto a las mezclas con el mismo agregado y asfalto 60/70 (15\_2221), en cada una de las temperaturas y frecuencias.

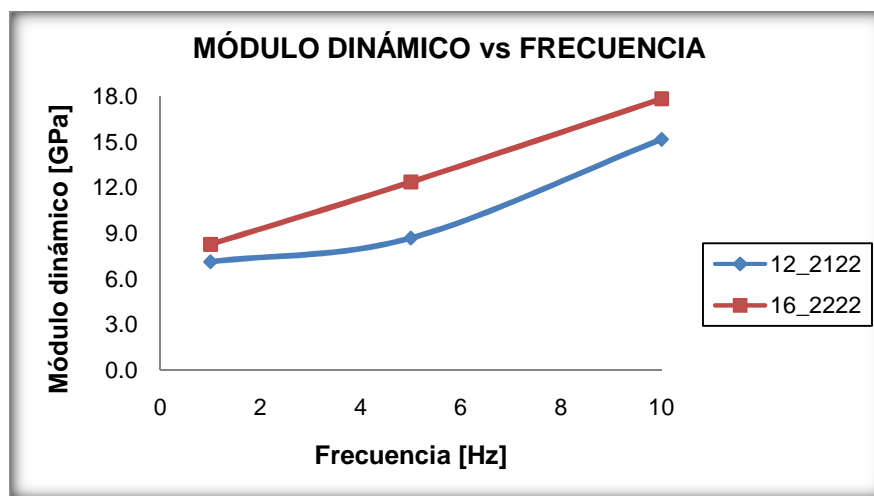
**Tabla 3.22.** Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita

% Incremento asfalto 20/30 con respecto al asfalto 60/70			
Frecuencia [Hz]	Temperatura [°C]		
	3	19	35
1	20,13	80,36	144,32
5	13,48	85,85	128,92
10	41,64	64,12	42,02

### 3.2.4.2.2 Comparación entre Diseños 12\_2122 con asfalto (20/30) y 16\_1212 con asfalto (60/70)

- Temperatura 3°C

**Gráfica 3.12.** Módulo dinámico vs frecuencia (12\_2122 y 16\_2222) 3°C

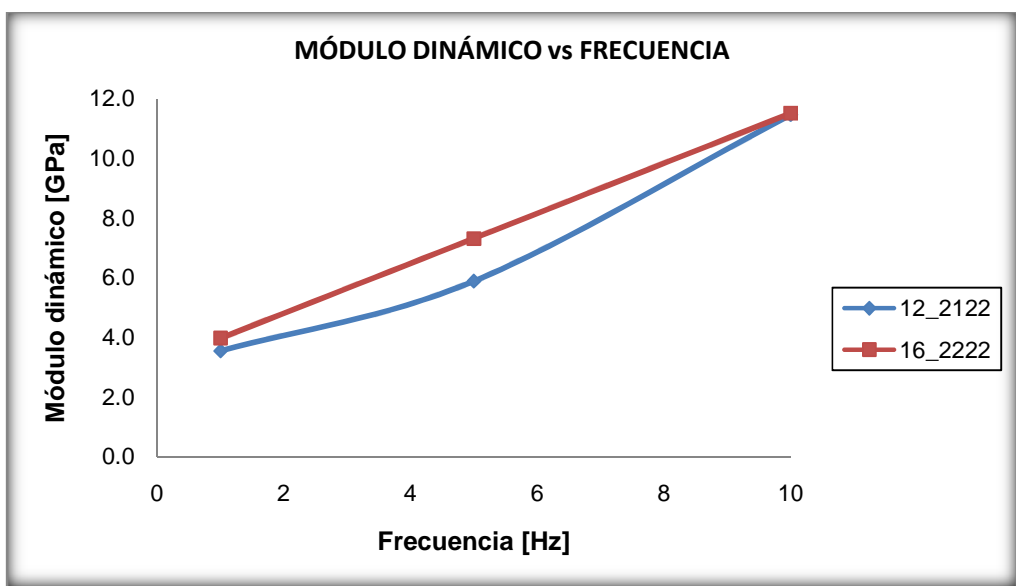


**Tabla 3.23.** Valores de módulo diseños (12\_2122 y 16\_2222) 3°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
12_2122	1	7.12	8.03
	5	8.68	
	10	15.17	
16_2222	1	8.28	7.06
	5	12.37	
	10	17.83	

- Temperatura 19°C

**Gráfica 3.13.** Módulo dinámico vs frecuencia (12\_2122 y 16\_2222) 19°C

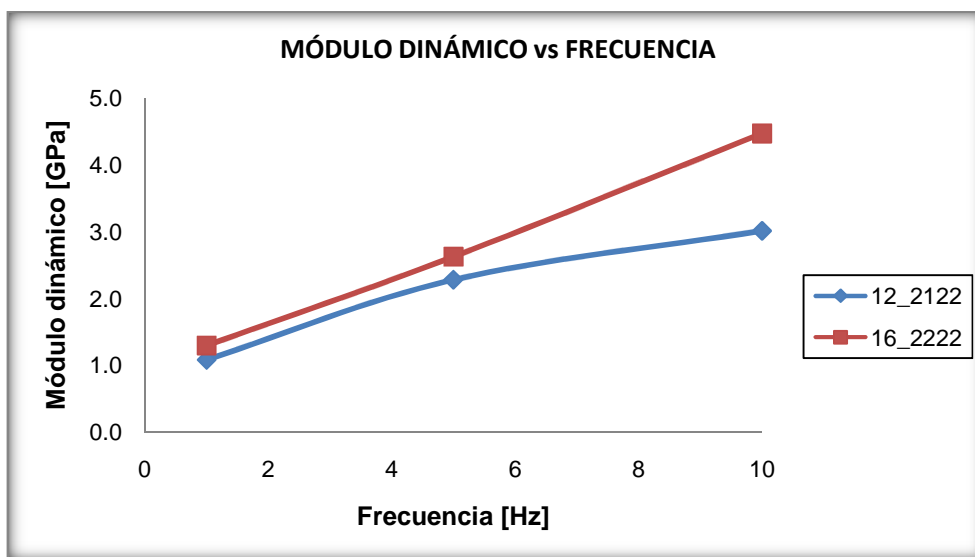


**Tabla 3.24.** Valores de módulo diseños (12\_2122 y 16\_2222) 19°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
12_2122	1	3.535	8.03
	5	5.880	
	10	11.458	
16_2222	1	3.968	7.06
	5	7.318	
	10	11.517	

- Temperatura 35°C

**Gráfica 3.14.** Módulo dinámico vs frecuencia (12\_2122 y 16\_2222) 35°C



**Tabla 3.25.** Valores de módulo diseños (12\_2122 y 16\_2222) 35°C

DISEÑO	FRECUENCIA [Hz]	MÓDULO [GPa]	%Va
12_2122	1	1.080	8.03
	5	2.282	
	10	3.016	
16_2222	1	1.297	7.06
	5	2.627	
	10	4.474	

La siguiente tabla muestra el decremento de las mezclas con asfalto 20/30 y agregado Rio negro (12\_2122), respecto a las mezclas con el mismo agregado y asfalto 60/70 (16\_2222), en cada una de las temperaturas y frecuencias.

**Tabla 3.26.** Variación del módulo al modificar el asfalto convencional con asfaltita

% Decremento asfalto 20/30 con respecto al asfalto 60/70			
Frecuencia [Hz]	Temperatura [°C]		
	3	19	35
1	-14,00	-10,92	-16,75
5	-29,81	-19,65	-13,13
10	-14,94	-0,51	-32,60

#### 4. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos son coherentes con la relación que existe entre la temperatura y las frecuencias de carga, ya que a altas temperaturas y bajas velocidades de carga los módulos son menores que los valores obtenidos a bajas temperaturas y altas velocidades de carga.
- Al considerar una temperatura de 30°C como la temperatura media de mezclas en Bucaramanga y para una condición de velocidad de vehículos circulando a 40 Km/h (5Hz), la rigidez de las mezclas MDC-2 con asfalto convencional sería de **4.0 GPa**, si se le adiciona asfaltita al asfalto convencional la rigidez pudiese aumentar en un 16%.
- En los valores de módulo dinámico de las mezclas asfálticas MDC-2 y M1, no se evidenció gran influencia de la fuente de agregado.
- La magnitud del módulo dinámico varía más fuertemente con cambios en el contenido de vacíos que con cambios en cualquier otra característica del material.
- La asfaltita combinada con el asfalto convencional aumenta el valor de rigidez de las mezclas. En algunas mezclas que contienen asfaltita, los valores de módulo dinámico resultaron inferiores a los de las mezclas con asfalto convencional, en estos casos se pudo evidenciar la fuerte influencia del contenido de vacíos en la rigidez de los materiales.

- Se ha redactado un protocolo de manejo de ensayo de módulo dinámico con la MTS-810 (capacidad de celda de carga de 2.5 TN), equipo que acaba de adquirir la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- Por primera vez en los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander, se ha logrado realizar ensayos dinámicos de caracterización de la rigidez de mezclas asfálticas.

## 5. RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones se hacen con el propósito de mejorar la capacidad del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS para caracterizar dinámicamente mezclas asfálticas:

- Para garantizar un mezclado completo y una buena homogenización en cualquier tipo de mezcla, ya sea (asfalto-asfaltita ó agregado-asfalto) es necesario adaptar a la mezcladora mecánica existente una paleta de mayor rigidez y un dispositivo de control de la temperatura para el momento del mezclado, además balanzas electrónicas de mayor precisión a las existentes en el laboratorio.
- Obtener nuevos equipos de compactación (compactador giratorio y aparatos vibratorios), para la realización de las probetas que permitan simular de mejor forma lo que sucede en campo.
- Adquirir una cámara de temperatura para la MTS-810, donde se controle la temperatura en el acondicionamiento previo al ensayo como en el mismo ensayo, de acuerdo a los límites de precisión que recomienda la norma de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Para obtener una mejor precisión en las mediciones de deformación del ensayo, se recomienda contar con la ubicación de más de dos extensómetros en diferentes puntos de la probeta, procurando que estén siempre sobre las superficies más lisas de ésta.
- Comparar el comportamiento del módulo dinámico entre mezclas asfálticas modificadas con asfaltita y mezclas modificadas con polímeros u otros elementos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] DOUGAN, Charles and HANSEN, Gilbert, E\*-Dynamic modulus Test protocol – Problemas and Solutions, disponible: <http://docs.trb.org/00941260.pdf>

[2] REYES, fredy., MADRID, María y SALAS, Sandra, Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y plastómetro (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100), disponible: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/latindex/vial001/03-mezclas.pdf>

[3] Caracterización del módulo dinámico de mezclas asfálticas para el diseño mecanístico-empírico de pavimentos, disponible: [http://revistaiv.lanamme.ucr.ac.cr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=91&Itemid=](http://revistaiv.lanamme.ucr.ac.cr/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=)

[4] Asfaltos modificados con polímeros, disponible: <http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>

[5] GONZÁLEZ, Silvia Viviana y VELANDIA, Siul Enith, Estado del arte en el estudio de la fatiga de materiales bituminosos, Bucaramanga, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 2006

[6] Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia, disponible: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/vial-19/vial-19-2.pdf>

[7] Asfaltitas, disponible: <http://www.e-asfalto.com.ar/asfaltitas/asfaltitas.htm>

[8] El mejor camino hacia pavimentos de alta calidad, disponible: <http://www.e-asfalto.com.ar/quimex/kbasfaltitas.htm>

**[9]** MÉNDEZ, Adriana y NÚÑEZ, Yudith Maritza, Mezclas de asfaltos naturales con asfaltos de refinería para producir asfaltos duros en la elaboración de mezclas con un módulo alto, Bucaramanga, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 2008

**[10]** Mezcla asfáltica, disponible: [http://es.wikipedia.org/wiki/Mezcla\\_asf%C3%A1ltica](http://es.wikipedia.org/wiki/Mezcla_asf%C3%A1ltica)

**[11]** ARENAS, Emilio y SERRANO, Andres, Análisis comparativo de propiedades de deformación en mezclas MDC-2, MDC-3, M1 y Stone matrix Asphalt, Bucaramanga, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 2006

**[12]** CHAVEZ, Sergio, Relación entre propiedades mecánicas de concretos asfálticos bajo carga estática y dinámica, Bucaramanga, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, 2008.

**[13]** ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, Instituto Nacional de Vías, 2007

**[14]** NORMAS DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS, Instituto Nacional de vías, 2007

## **ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS**

**ANEXO A.1: Geometría de las probetas fabricadas en el laboratorio**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

PROBETA		DIMENSIONES		
		Diámetro (mm)	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)
ASFALTO 20/30	1_1111_R1	101.6	128.38	130.72
	1_1111_R2	101.6	132.4	
	1_1111_R3	101.6	131.38	
	2_1112_R1	101.6	128.19	130.96
	2_1112_R2	101.6	132.2	
	2_1112_R3	101.6	132.49	
	11_2121_R1	101.6	135.10	134.06
	11_2121_R2	101.6	133.84	
	11_2121_R3	101.6	133.24	
	12_2122_R1	101.6	134.38	133.39
	12_2122_R2	101.6	132.56	
	12_2122_R3	101.6	133.22	
ASFALTO 60/70	5_1211_R1	101.6	132.52	132.95
	5_1211_R2	101.6	132.71	
	5_1211_R3	101.6	133.62	
	6_1212_R1	101.6	134.04	133.53
	6_1212_R2	101.6	133.30	
	6_1212_R3	101.6	133.25	
	15_2221_R1	101.6	131.31	131.45
	15_2221_R2	101.6	130.58	
	15_2221_R3	101.6	132.47	
	16_2222_R1	101.6	132.09	132.93
	16_2222_R2	101.6	133.48	
	16_2222_R3	101.6	133.21	

**ANEXO A.2: Densidad Bulk para mezclas MDC-2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DIMENSIONES		Wsumergida (gr)	Wseco (gr)	Wsss (gr)	DENSIDAD BULK
		Diámetro (mm)	Altura (mm)				
MDC-2 Asfalto 20/30	1_1111_R1	101.6	128.38	1438	2485.65	2490.15	2.36
	1_1111_R2	101.6	132.4	1434	2492.15	2500.25	2.34
	1_1111_R3	101.6	131.38	1436	2491.1	2501.35	2.34
	2_1112_R1	101.6	128.19	1394	2412.2	2428.65	2.33
	2_1112_R2	101.6	132.2	1403	2450.4	2462.85	2.31
	2_1112_R3	101.6	132.49	1413	2471.95	2453.95	2.37
MDC-2 Asfalto 60/70	5_1211_R1	101.6	132.52	1461	2492.35	2503.95	2.39
	5_1211_R2	101.6	132.71	1451	2484.1	2500.15	2.37
	5_1211_R3	101.6	133.62	1454	2492.65	2504.2	2.37
	6_1212_R1	101.6	134.04	1422	2489.85	2494.85	2.32
	6_1212_R2	101.6	133.3	1439	2497.5	2503	2.35
	6_1212_R3	101.6	133.25	1428	2495.7	2505.65	2.32

**ANEXO A.3: Densidad Bulk de Mezclas M1**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DIMENSIONES		ÁREA	VOLUMEN	Wseco (gr)	DENSIDAD BULK
		Diámetro (mm)	Altura (mm)	PROBETA (mm <sup>2</sup> )	PROBETA (cm <sup>3</sup> )		
M1 Asfalto 20/30	11_2121_R1	101.6	135.1	8107.32	1095.3	2477.40	2.26
	11_2121_R2	101.6	133.84	8107.32	1085.08	2487.60	2.29
	11_2121_R3	101.6	133.24	8107.32	1080.19	2484.40	2.3
	12_2122_R1	101.6	134.38	8107.32	1089.43	2493.40	2.29
	12_2122_R2	101.6	132.56	8107.32	1074.71	2488.40	2.32
	12_2122_R3	101.6	133.22	8107.32	1080.06	2477.25	2.29
M1 Asfalto 60/70	15_2221_R1	101.6	131.31	8107.32	1064.57	2452.75	2.3
	15_2221_R2	101.6	130.58	8107.32	1058.65	2453.55	2.32
	15_2221_R3	101.6	132.47	8107.32	1074.00	2458.00	2.29
	16_2222_R1	101.6	132.09	8107.32	1070.87	2434.15	2.27
	16_2222_R2	101.6	133.48	8107.32	1082.14	2470.65	2.28
	16_2222_R3	101.6	133.21	8107.32	1080.00	2463.10	2.28

**ANEXO A.4:** *Gravedad Máxima Teórica de mezclas con asfalto 60/70*

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

CLASIFICACIÓN	PROBETA	Wmuestra(gr)	Wmatraz con agua	W(matraz + Material + Agua sin vacios)	GMM
		A	D	E	A/(A+D-E)
Asfalto 20/30	1_1111	900,2	1950,2	2489,2	2,492
	11_2121	900,3	1950,2	2480,8	2,435
	12_2122	900,1	1950,2	2485,3	2,466
	2_1112	900,3	1950,2	2490,3	2,499
Asfalto 60/70	5_1211	900	1950,2	2490,5	2,502
	15_2221	900,3	1950,2	2490,7	2,502
	6_1212	900,4	1950,2	2487,6	2,480
	16_2222	900,5	1950,2	2483,5	2,452

**ANEXO A.5: Porcentaje de vacios en mezclas MDC-2**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DENSIDAD BULK	GMM	% GMM	VMA	%VACIOS	VFA
MDC-2 Asfalto 20/30	1_1111_R1	2.36	2.49	94.88	15,34	5,12	66,61
	1_1111_R2	2.34	2.49	93.87	16,24	6,13	62,25
	1_1111_R3	2.34	2.49	93.91	16,21	6,09	62,41
	2_1112_R1	2.33	2.43	95.94	16,45	4,06	75,34
	2_1112_R2	2.31	2.43	95.15	17,15	4,85	71,69
	2_1112_R3	2.37	2.43	97.72	14,90	2,28	84,73
MDC-2 Asfalto 60/70	5_1211_R1	2,39	2,50	95,51	14,35	4,40	69,35
	5_1211_R2	2,37	2,50	94,63	15,07	5,20	65,50
	5_1211_R3	2,37	2,50	94,86	14,95	5,06	66,14
	6_1212_R1	2,32	2,48	93,58	16,84	6,42	61,86
	6_1212_R2	2,35	2,48	94,65	15,89	5,35	66,31
	6_1212_R3	2,32	2,48	93,38	17,01	6,62	61,10

**ANEXO A.6: Porcentaje de vacios en mezclas M1**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

CLASIFICACIÓN	PROBETA	DENSIDAD BULK	GMM	% GMM	VMA	%VACIOS	VFA
M1 Asfalto 20/30	11_2121_R1	2.26	2.46	91.95	19,37	8,05	58,42
	11_2121_R2	2.29	2.46	93.19	18,28	6,81	62,76
	11_2121_R3	2.3	2.46	93.49	18,01	6,51	63,88
	12_2122_R1	2.29	2.5	91.55	18,41	8,45	54,10
	12_2122_R2	2.32	2.5	92.62	17,46	7,38	57,72
	12_2122_R3	2.29	2.5	91.75	18,24	8,25	54,74
M1 Asfalto 60/70	15_2221_R1	2.3	2.5	92.09	17,87	7,84	56,12
	15_2221_R2	2.32	2.5	92.63	17,38	7,30	58,03
	15_2221_R3	2.29	2.5	91.47	18,42	8,45	54,09
	16_2222_R1	2.27	2.45	92.7	18,97	7,30	61,53
	16_2222_R2	2.28	2.45	93.11	18,61	6,89	63,00
	16_2222_R3	2.28	2.45	93.01	18,70	6,99	62,63

## **ANEXO B: ENSAYOS MÓDULO DINÁMICO**

**ANEXO B.1: Ensayo Módulo Dinámico diseño MDC-2 1\_1111 (Asfalto 20/30)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (GPa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
4.5% de asf _ PEN 20/30_MDC-2_Chicamocho	1_1111_R1	3	10	19,155	6,249	40,239
	1_1111_R1	3	5	21,776	5,951	33,711
	1_1111_R1	3	1	14,562	4,984	42,213
	1_1111_R1	19	10	14,153	2,767	40,288
	1_1111_R1	19	5	11,364	2,754	29,895
	1_1111_R1	19	1	6,203	1,414	28,111
	1_1111_R1	35	10	6,775	1,783	32,469
	1_1111_R1	35	5	5,689	1,297	28,118
	1_1111_R1	35	1	2,463	0,975	48,841
	1_1111_R2	3	10	12,343	6,418	64,136
	1_1111_R2	3	5	7,507	3,914	64,313
	1_1111_R2	3	1	5,262	2,099	49,194
	1_1111_R2	19	10	7,169	3,641	62,635
	1_1111_R2	19	5	4,723	2,264	59,139
	1_1111_R2	19	1	2,579	1,233	58,976
	1_1111_R2	35	10	4,093	1,553	46,793
	1_1111_R2	35	5	2,645	1,265	59,011
	1_1111_R2	35	1	1,908	0,949	61,352
	1_1111_R3	3	10	14,028	6,881	60,508
	1_1111_R3	3	5	11,579	4,152	44,227
	1_1111_R3	3	1	7,704	2,546	40,762
	1_1111_R3	19	10	8,527	3,651	52,808
	1_1111_R3	19	5	5,743	2,27	48,76
	1_1111_R3	19	1	3,477	1,409	49,973
	1_1111_R3	35	10	7,427	2,053	34,097
	1_1111_R3	35	5	3,871	1,28	40,794
	1_1111_R3	35	1	2,863	1,164	50,142

**ANEXO B.2: Ensayo Módulo Dinámico diseño MDC-2 2\_1112 (Asfalto 20/30)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (GPa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
4.5% de asf _ PEN 20/30 _ MDC-2 _ Rionegro	2_1112_R1	3	10	22,250	6,423	35,607
	2_1112_R1	3	5	15,542	4,136	32,825
	2_1112_R1	3	1	7,182	2,316	39,774
	2_1112_R1	19	10	13,133	3,611	33,915
	2_1112_R1	19	5	8,193	2,267	34,125
	2_1112_R1	19	1	5,171	1,41	33,642
	2_1112_R1	35	10	4,193	1,498	44,066
	2_1112_R1	35	5	3,563	1,113	38,529
	2_1112_R1	35	1	1,882	0,849	55,641
	2_1112_R2	3	10	21,822	6,342	35,848
	2_1112_R2	3	5	15,965	4,115	31,797
	2_1112_R2	3	1	5,161	2,313	55,279
	2_1112_R2	19	10	13,682	3,562	32,111
	2_1112_R2	19	5	9,811	2,241	28,174
	2_1112_R2	19	1	4,224	1,174	34,296
	2_1112_R2	35	10	3,489	1,738	61,449
	2_1112_R2	35	5	2,938	1,159	48,651
	2_1112_R2	35	1	1,647	0,848	63,517
	2_1112_R3	3	10	18,471	5,757	38,447
	2_1112_R3	3	5	14,634	3,588	30,242
	2_1112_R3	3	1	6,204	1,863	37,043
	2_1112_R3	19	10	11,754	3,481	36,531
	2_1112_R3	19	5	11,056	2,217	24,741
	2_1112_R3	19	1	5,773	1,391	29,713
	2_1112_R3	35	10	4,303	1,426	40,87
	2_1112_R3	35	5	2,851	1,045	45,2
	2_1112_R3	35	1	2,026	0,78	47,482

**ANEXO B.3: Ensayo Módulo Dinámico diseño MDC-2 5\_1211 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (GPa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
4.5% de asf _ PEN 60/70 _MDC-2_ Chicamocha	5_1211_R2	3	10	25,482	8,307	40,212
	5_1211_R2	3	5	17,455	6,853	48,432
	5_1211_R2	3	1	15,671	5,001	39,379
	5_1211_R2	19	10	11,196	4,079	44,940
	5_1211_R2	19	5	9,079	2,279	30,965
	5_1211_R2	19	1	5,061	1,408	34,304
	5_1211_R2	35	10	5,283	1,599	37,342
	5_1211_R2	35	5	2,489	1,095	54,237
	5_1211_R2	35	1	1,266	0,766	74,654
	5_1211_R3	3	10	20,801	8,791	52,132
	5_1211_R3	3	5	13,106	6,879	64,742
	5_1211_R3	3	1	11,324	4,993	54,391
	5_1211_R3	19	10	9,618	4,541	58,231
	5_1211_R3	19	5	7,640	2,738	44,196
	5_1211_R3	19	1	4,676	1,412	37,256
	5_1211_R3	35	10	3,942	1,585	49,575
	5_1211_R3	35	5	2,15	0,739	70,844
	5_1211_R3	35	1	0,909	0,626	84,924

**ANEXO B.4: Ensayo Módulo Dinámico probeta MDC-2 6\_1212 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (GPa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
4.5% de asf _ PEN 60/70_MDC-2_Rionegro	6_1212_R1	3	10	16,348	6,889	52,052
	6_1212_R1	3	5	10,73	5,737	65,954
	6_1212_R1	3	1	8,364	4,777	70,448
	6_1212_R1	19	10	10,402	4,559	54,069
	6_1212_R1	19	5	7,117	2,747	47,611
	6_1212_R1	19	1	3,96	1,41	43,935
	6_1212_R1	35	10	3,052	1,750	70,727
	6_1212_R1	35	5	2,338	1,246	65,737
	6_1212_R1	35	1	1,708	0,767	55,392
	6_1212_R2	3	10	16,264	6,034	45,768
	6_1212_R2	3	5	12,615	5,725	55,975
	6_1212_R2	3	1	10,605	4,541	52,819
	6_1212_R2	19	10	12,231	4,096	41,314
	6_1212_R2	19	5	8,109	2,517	38,286
	6_1212_R2	19	1	4,4	1,186	33,258
	6_1212_R2	35	10	2,873	1,672	71,791
	6_1212_R2	35	5	2,277	1,240	67,172
	6_1212_R2	35	1	1,297	0,770	73,214

**ANEXO B.5: Ensayo Módulo Dinámico probeta M1 11\_2121 (Asfalto 20/30)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (GPa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
5% de asf _ PEN 20/30 _ M1 _ Chicamocho	11_2121_R1	3	10	18,232	7,791	52,712
	11_2121_R1	3	5	14,504	6,42	54,596
	11_2121_R1	3	1	9,127	4,103	55,448
	11_2121_R1	19	10	13,165	5,919	55,454
	11_2121_R1	19	5	10,839	4,583	52,154
	11_2121_R1	19	1	6,958	2,975	52,742
	11_2121_R1	35	10	4,884	1,153	29,109
	11_2121_R1	35	5	4,592	0,909	24,422
	11_2121_R1	35	1	2,566	0,744	35,776
	11_2121_R2	3	10	14,432	7,824	66,881
	11_2121_R2	3	5	13,343	6,422	59,369
	11_2121_R2	3	1	8,774	4,1	57,644
	11_2121_R2	19	10	13,541	5,845	53,246
	11_2121_R2	19	5	10,002	4,542	56,013
	11_2121_R2	19	1	5,495	2,306	51,769
	11_2121_R2	35	10	3,023	1,050	42,864
	11_2121_R2	35	5	2,521	0,912	44,624
	11_2121_R2	35	1	1,390	0,728	64,649
	11_2121_R3	3	10	15,708	7,843	61,587
	11_2121_R3	3	5	9,422	5,287	69,214
	11_2121_R3	3	1	5,297	2,765	64,391
	11_2121_R3	19	10	10,657	4,992	57,781
	11_2121_R3	19	5	7,377	3,430	57,350
	11_2121_R3	19	1	3,907	1,856	58,587
	11_2121_R3	35	10	3,702	1,054	35,105
	11_2121_R3	35	5	3,125	0,920	36,331
	11_2121_R3	35	1	1,363	0,750	67,863

**ANEXO B.6: Ensayo Módulo Dinámico probeta M1 12\_2122 (Asfalto 20/30)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (Gpa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
5% de asf _ PEN 20/30 _ M1 _ Rionegro	12_2122_R1	3	10	10,883	6,268	71,035
	12_2122_R1	3	5	7,952	4,601	71,368
	12_2122_R1	3	1	6,161	3,211	64,287
	12_2122_R1	19	10	7,339	2,155	60,459
	12_2122_R1	19	5	5,040	2,258	55,268
	12_2122_R1	19	1	3,205	1,196	46,020
	12_2122_R1	35	10	2,222	0,975	54,128
	12_2122_R1	35	5	1,586	0,803	62,445
	12_2122_R1	35	1	1,103	0,5	55,918
	12_2122_R2	3	10	18,064	6,879	46,969
	12_2122_R2	3	5	8,091	4,590	69,972
	12_2122_R2	3	1	6,114	3,640	73,438
	12_2122_R2	19	10	14,285	4,959	42,819
	12_2122_R2	19	5	6,671	3,626	67,048
	12_2122_R2	19	1	4,352	2,216	62,802
	12_2122_R2	35	10	3,242	1,191	45,315
	12_2122_R2	35	5	1,776	0,793	55,044
	12_2122_R2	35	1	1,013	0,383	46,657
	12_2122_R3	3	10	16,557	6,867	51,156
	12_2122_R3	3	5	10,007	4,590	56,571
	12_2122_R3	3	1	9,081	3,429	46,575
	12_2122_R3	19	10	12,750	4,921	47,608
	12_2122_R3	19	5	5,928	3,166	65,884
	12_2122_R3	19	1	3,047	1,641	66,426
	12_2122_R3	35	10	3,583	1,431	49,281
	12_2122_R3	35	5	3,484	0,973	34,446
	12_2122_R3	35	1	1,124	0,492	54

**ANEXO B.7: Ensayo Módulo Dinámico probeta M1 15\_2221 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (Gpa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
5% de asf _ PEN 60/70 _ M1 _ Chicamochoa	15_2221_R1	3	10	9,097	5,337	72,355
	15_2221_R1	3	5	10,705	3,919	45,164
	15_2221_R1	3	1	6,741	2,320	42,463
	15_2221_R1	19	10	7,508	2,182	59,824
	15_2221_R1	19	5	5,554	2,06	45,747
	15_2221_R1	19	1	3,139	1,415	55,621
	15_2221_R1	35	10	2,879	0,996	42,660
	15_2221_R1	35	5	1,525	0,678	54,825
	15_2221_R1	35	1	0,606	0,267	54,376
	15_2221_R2	3	10	9,534	5,325	68,886
	15_2221_R2	3	5	7,597	3,929	63,791
	15_2221_R2	3	1	4,202	2,539	74,522
	15_2221_R2	19	10	7,092	3,625	63,038
	15_2221_R2	19	5	4,365	2,044	57,754
	15_2221_R2	19	1	2,509	1,409	69,241
	15_2221_R2	35	10	2,397	1,021	52,543
	15_2221_R2	35	5	1,369	0,684	61,630
	15_2221_R2	35	1	0,844	0,453	66,306
	15_2221_R3	3	10	15,519	6,928	55,076
	15_2221_R3	3	5	14,539	4,621	39,201
	15_2221_R3	3	1	8,368	3,431	50,575
	15_2221_R3	19	10	8,165	3,663	55,334
	15_2221_R3	19	5	5,264	2,052	48,094
	15_2221_R3	19	1	3,422	1,416	51,037
	15_2221_R3	35	10	2,899	1,018	43,331
	15_2221_R3	35	5	1,578	0,713	55,718
	15_2221_R3	35	1	0,728	0,261	44,197

**ANEXO B.8: Ensayo Módulo Dinámico probeta M1 16\_2222 (Asfalto 60/70)**

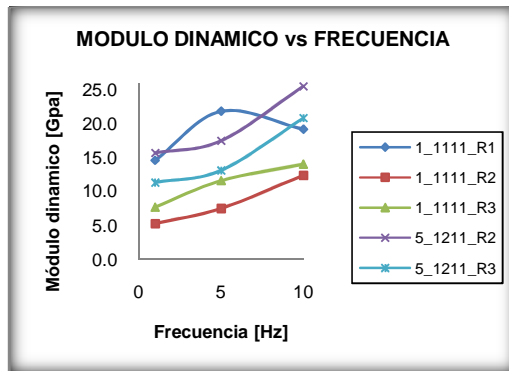
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

INFORMACIÓN	CÓDIGO	TEMPERATURA (°C)	FRECUENCIA (Hz)	MÓDULO (Gpa)	AMPLITUD	
					Carga(kN)	Microstrain
5% de asf _ PEN 60/70 _ M1 _ Rionegro	16_2222_R1	3	10	17,789	7,150	49,574
	16_2222_R1	3	5	11,018	5,653	63,282
	16_2222_R1	3	1	9,633	3,877	49,647
	16_2222_R1	19	10	13,143	4,527	42,486
	16_2222_R1	19	5	9,684	2,048	26,081
	16_2222_R1	19	1	4,547	1,410	38,252
	16_2222_R1	35	10	3,954	1,138	35,49
	16_2222_R1	35	5	2,802	0,719	31,643
	16_2222_R1	35	1	1,097	0,491	55,28
	16_2222_R2	3	10	14,765	7,165	59,858
	16_2222_R2	3	5	13,623	5,656	51,207
	16_2222_R2	3	1	8,017	4,236	65,189
	16_2222_R2	19	10	11,415	-4,550	49,163
	16_2222_R2	19	5	6,870	2,035	36,546
	16_2222_R2	19	1	4,196	1,414	41,577
	16_2222_R2	35	10	4,013	1,138	34,983
	16_2222_R2	35	5	2,17	0,851	48,358
	16_2222_R2	35	1	1,194	0,492	50,789
	16_2222_R3	3	10	20,943	7,151	42,119
	16_2222_R3	3	5	12,471	5,660	55,981
	16_2222_R3	3	1	7,184	4,234	72,693
	16_2222_R3	19	10	9,991	4,100	50,618
	16_2222_R3	19	5	5,399	2,951	67,413
	16_2222_R3	19	1	3,161	1,412	55,098
	16_2222_R3	35	10	5,455	1,166	26,369
	16_2222_R3	35	5	2,909	0,848	35,977
	16_2222_R3	35	1	1,601	0,493	38,042

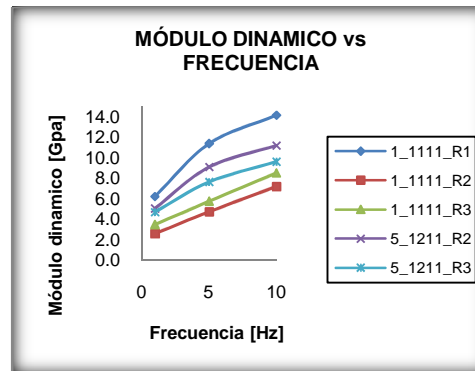
**ANEXO B.9: Combinación de diseños 1\_1111 (Asfalto 20/30) y 5\_1211 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

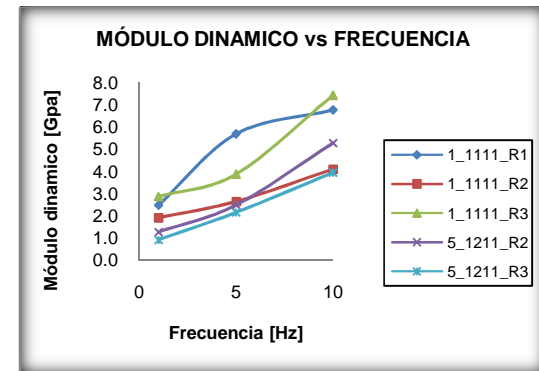
Temperatura 3°C



Temperatura 19°C



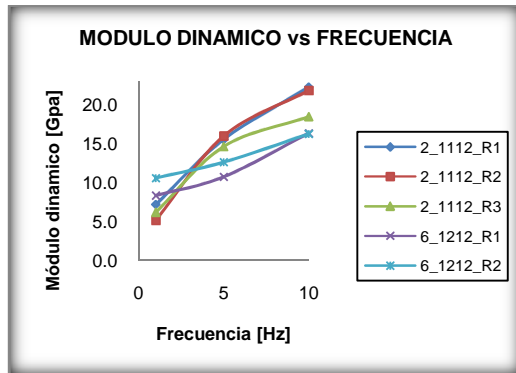
Temperatura 35°C



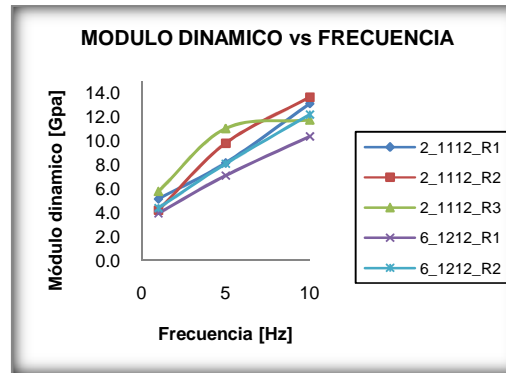
**ANEXO B.10: Combinación de diseños 2\_1112 (Asfalto 20/30) y 6\_1212 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

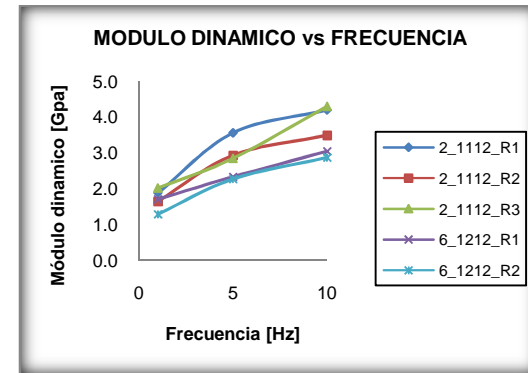
Temperatura 3°C



Temperatura 19°C



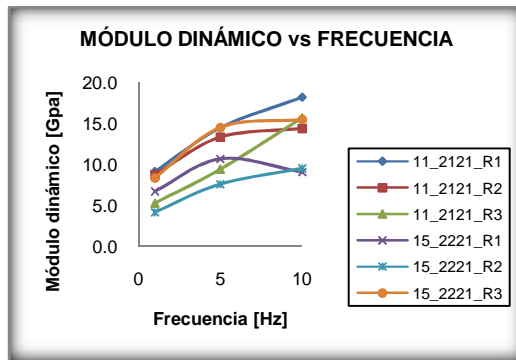
Temperatura 35°C



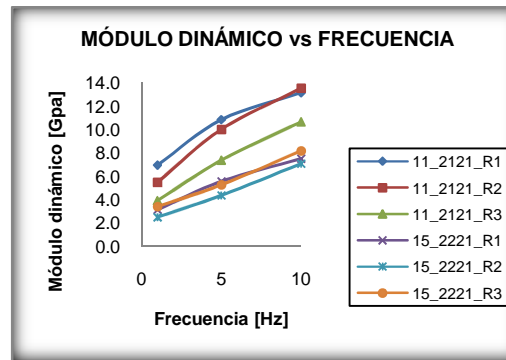
**ANEXO B.11: Combinación de diseños 11\_2121 (Asfalto 20/30) y 15\_2221 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

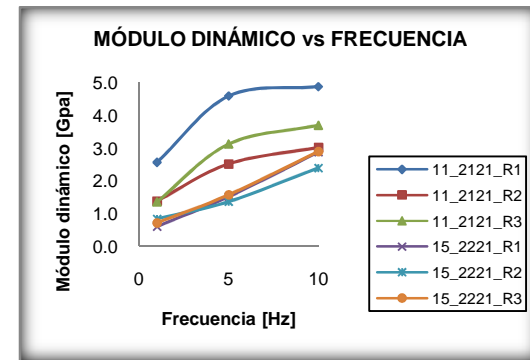
Temperatura 3°C



Temperatura 19°C



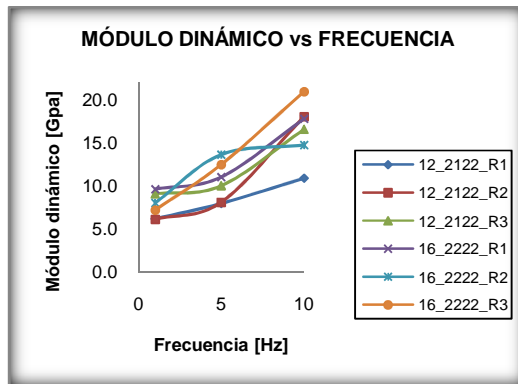
Temperatura 35°C



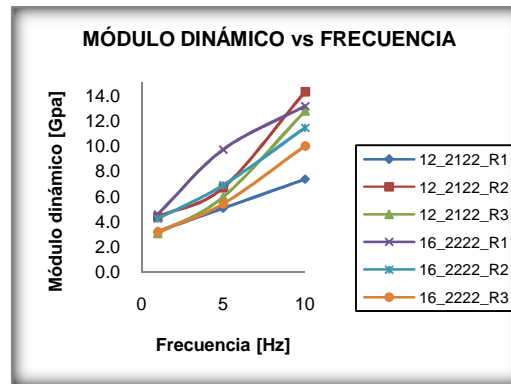
**ANEXO B.12: Combinación de diseños 12\_2122 (Asfalto 20/30) y 16\_2222 (Asfalto 60/70)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

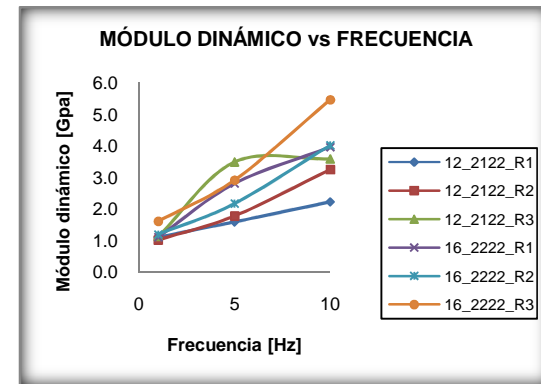
Temperatura 3°C



Temperatura 19°C



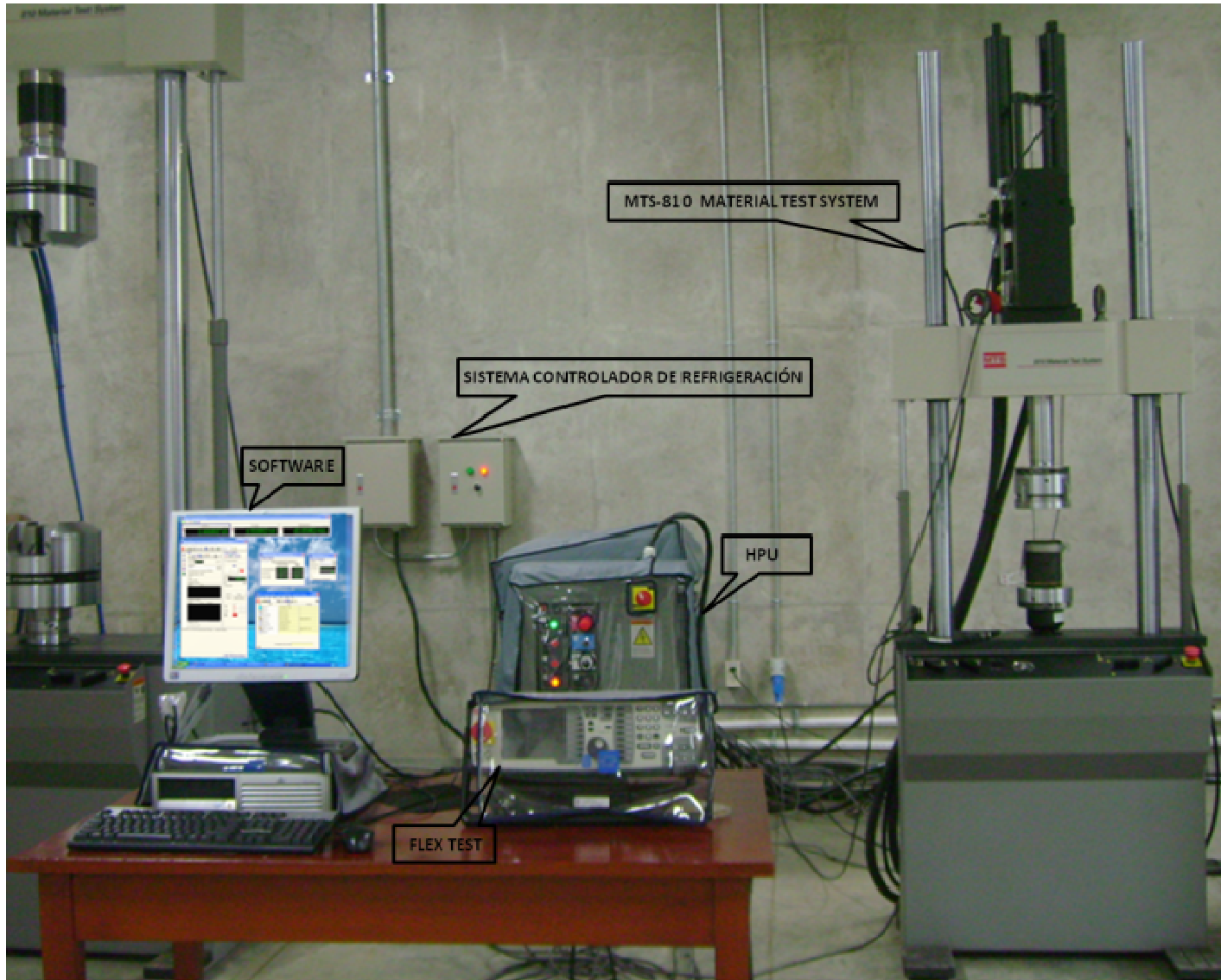
Temperatura 35°C



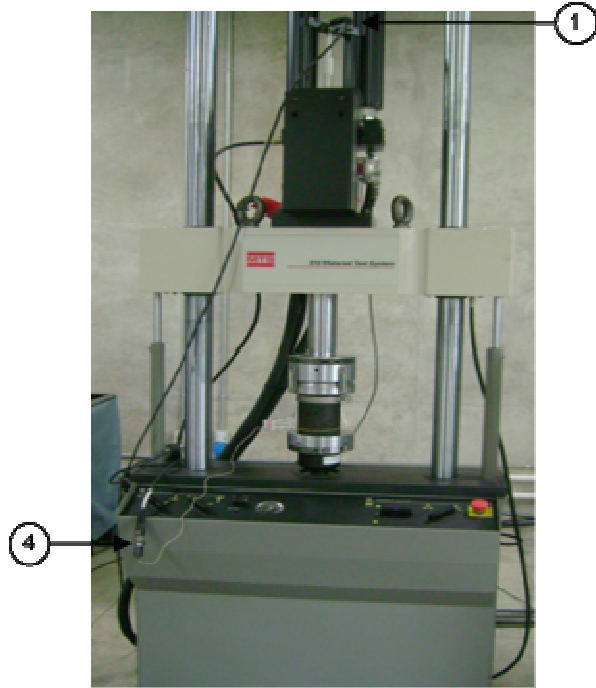
**ANEXO C: PROTOCOLO DE MANEJO DEL EQUIPO  
DINAMICO MTS-810 (CAPACIDAD DE CELDA  
2.5TN) PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE  
MÓDULO DINÁMICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

## MTS-810 MATERIAL TEST SYSTEM PARA CARGAS DINÁMICAS

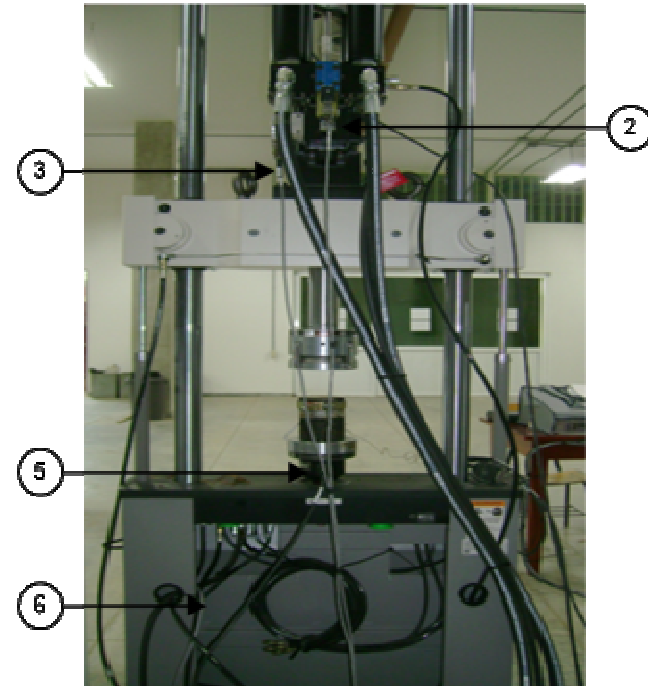




## UBICACIÓN DE LOS CABLES

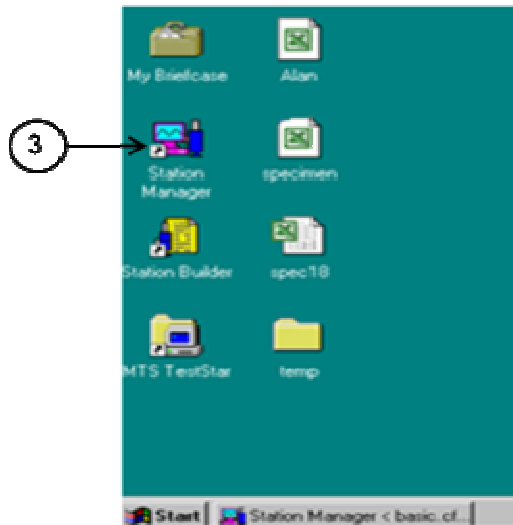
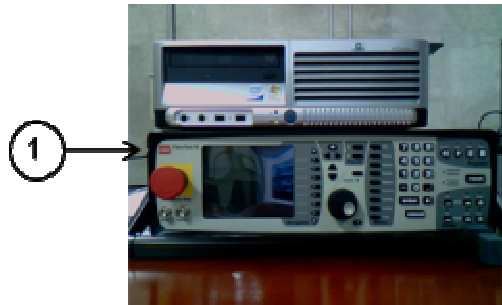




1. CABLE LVDT 46403-09, REV.E TOPU
2. CABLE PROPORCIONAL VALVE 561264-09, REV.C
3. CABLE P1SATRAIN GAGE 525430-01, REV.G

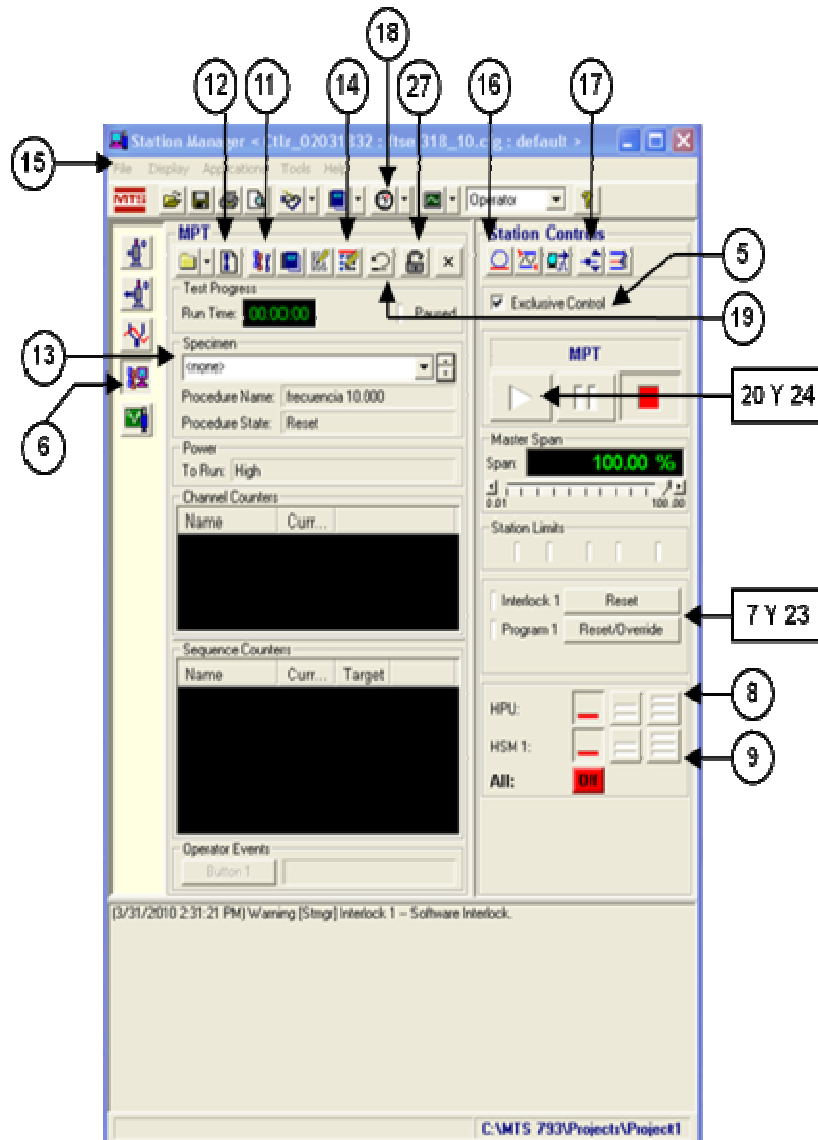





4. CABLE SERVO-VALVE 397083-09, REV.F
5. CABLE LOAD CELDA 564402-09, REV.E
6. CABLE XHD LOCK JCT BOX 561265-09, REV.B

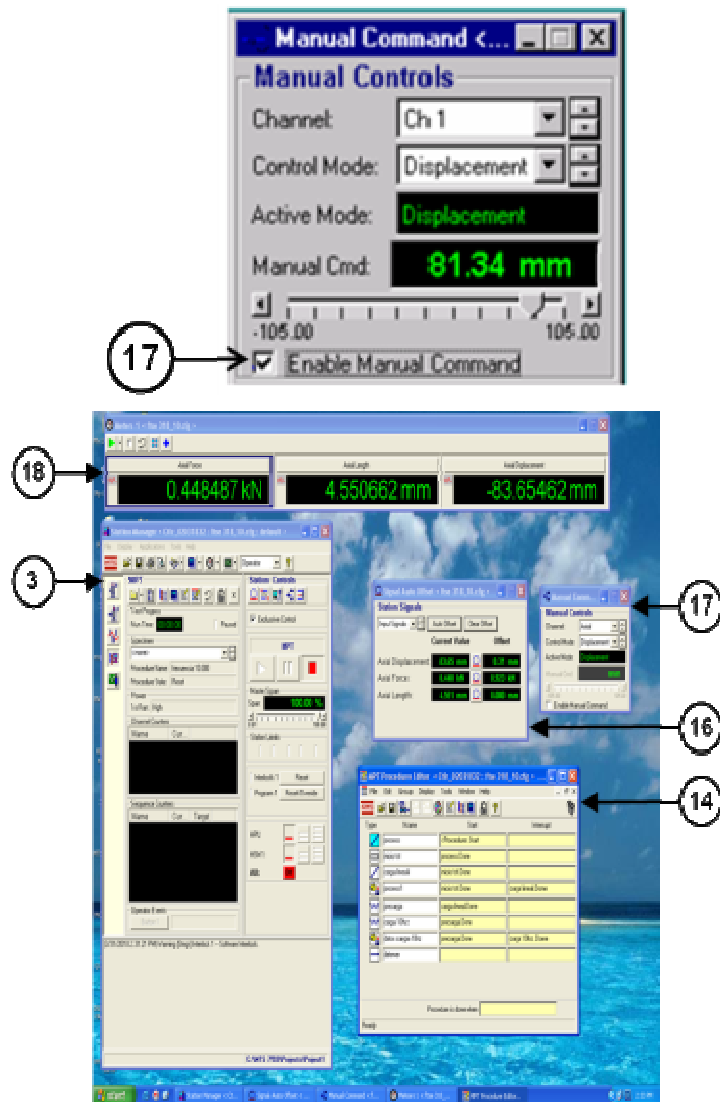
## INICIO DEL SOFTWARE




1. Encender la computadora, a continuación escribir el password y prender el "FlexTest. Esperar a que la pantalla del FlexTest este activa.
2. A continuación siga los pasos enumerados en la sección de iniciación de la Unidad Hidráulica.
3. Abrir el programa "Station Manager" que está ubicado en el escritorio.
4. En la ventana "Open Station" seleccionar la carpeta *ftse 318-10* y dar click en abrir.
5. Activar la casilla "Exclusive Control" que aparece en la parte superior derecha.
6. Si no aparece el icono MPT al lado izquierdo de la ventana debe ir al menú "Applications" seleccionar "MultiPurpose TestWare" y aparece el icono MPT.
7. Oprimir el botón "**Reset**" de los controladores de la HPU y de la HSM
8. Prender las bombas que controlan la HPU presionando en la pantalla el control HPU, primero oprima el botón que tiene dos líneas  y esperar hasta que pare de titilar, después oprima el botón que tiene tres líneas 

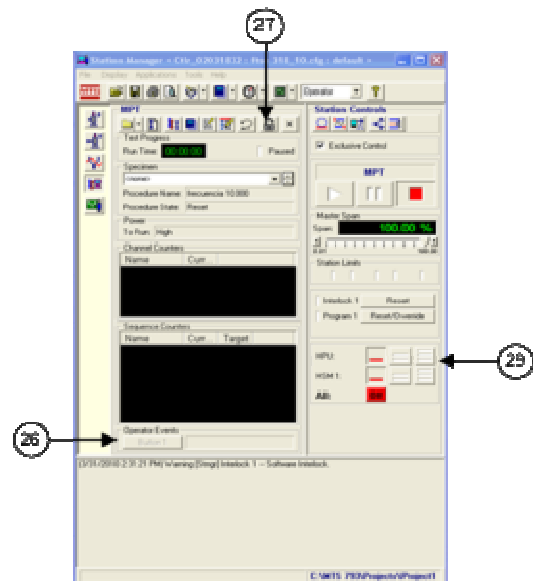
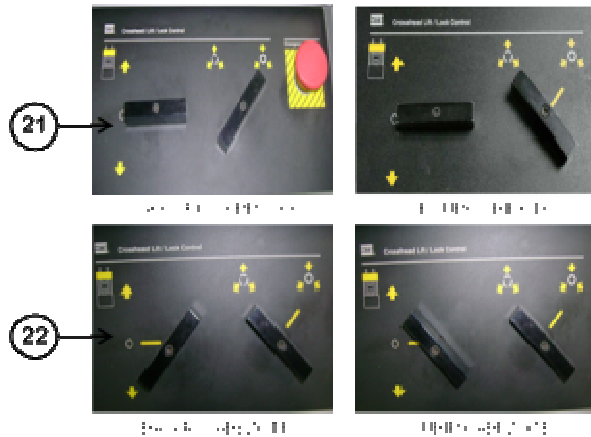



9. Prender las bombas que controlan la posición del servo, presionando en el control HSM el botón que tiene dos líneas  y esperar hasta que pare de titilar, después oprima el botón que tiene tres líneas  .  
 NOTA: Para apagar el sistema de bombas oprimir primero los botones de dos líneas y por último el de una línea empezando por el control de la servo y después el control de la HPU.
10. En “Mis documentos” crear la carpeta para guardar los archivos que se van a crear.
11. En “Specimen Editor” seleccione la ruta en la cual se guardó la carpeta creada en el punto anterior “Specimen Directory Path”.
12. En “New Specimen”, se crea el archivo en el cual se guarda los datos de la prueba a realizar.
13. La casilla “Specimen” queda activada para asignar a la prueba el nombre que se desee.
14. Puede Crear las especificaciones de la prueba presionando el botón  , (Procedure editor).
15. Crear los parámetros de la prueba seleccionando en el menú “file” la opción de “new procedure”. Si desea abrir un procedimiento ya creado en el menú “file” seleccionar “open procedure”.



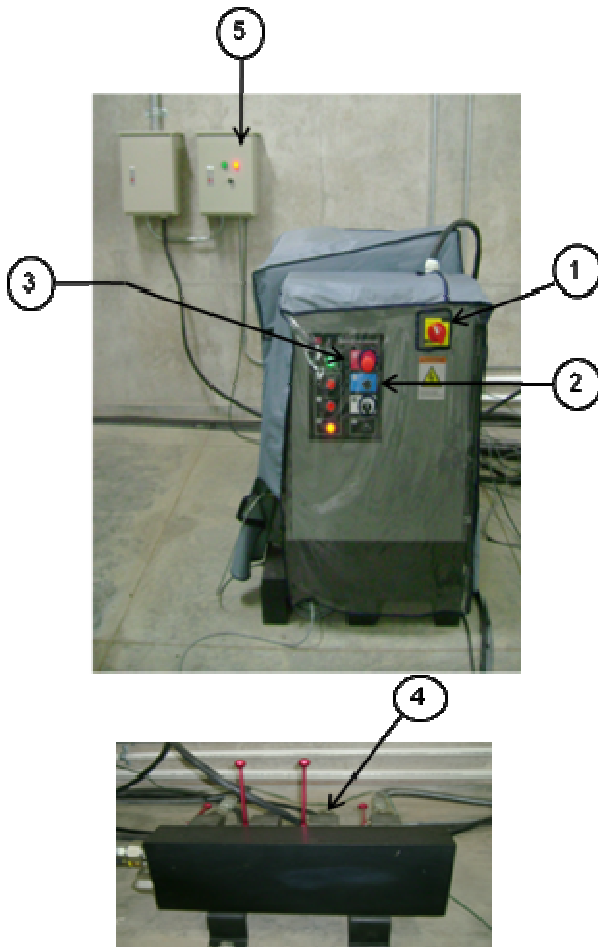
16. Desplegar el indicador que resetea la fuerza, el desplazamiento y el extensómetro y los inicia en cero.
17. Desplegar el “manual Command”. Para manipular el servo desde el software para ello, debe estar activada la celda “Enable Manual Command” y verifique la posición de “cero”.  
**NOTA:** El cabezal del equipo debe encontrarse en una posición alejada de la probeta para realizar esta maniobra.
18. Desplegar la opción “meters” y confirme que el servo este localizado en la posición correspondiente a “cero”.
19. Dar click en “Reset”  , y hacer click en YES.
20. Dar click en play. En este momento debe bajar el cabezote de la máquina para que haga contacto con la probeta.
21. Para maniobrar el cabezote de la máquina manualmente, debe desactivar la casilla “Enable Manual Command” y en la máquina abra el seguro (mover hacia la izquierda) esto permite realizar esta acción.
22. Según lo requerido la palanca le permite bajar o subir el cabezote de la máquina, la posición horizontal me indica una posición neutral, después de ubicar el cabezal en la posición deseada retorno la palanca del paso número 21 hacia la derecha. **NOTA:** La nomenclatura para indicar un movimiento en el cabezote de la máquina desde el

“manual command”es: (+) arriba el cabezote y (-) abajo el cabezote.



23. Desde el software dar clic en “Reset”, debido a que se maniobró la máquina manualmente.
24. Oprimir Play.
25. Oprimir “Reset” en los indicadores de fuerza y desplazamiento del paso número 16.
26. Oprimir “Start” y se da inicio al procedimiento de la prueba.
27. Desabilitar el “execute mode” .
28. Subir manualmente el cabezote de la máquina.
29. Llevar al mínimo la HSM y HPU en el orden indicado, en el momento en que apague el indicador de dos líneas del controlador HPU.
30. Cerrar las ventanas “Station Manager” y apagar el Flex Test SE.
31. Apagar la Unidad hidráulica, apagar el sistema que controla la refrigeración y apagar el computador.


## INICIACION DE LA UNIDAD HIDRAULICA Y REFRIGERACIÓN

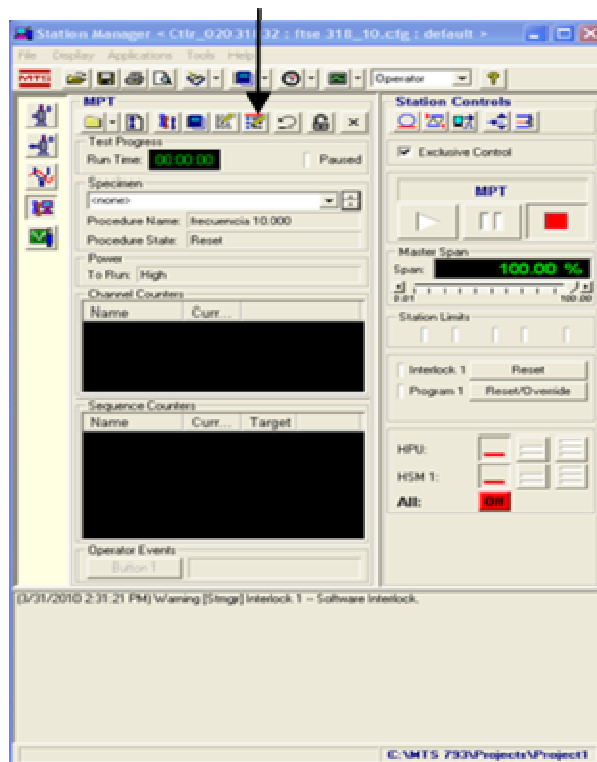


1. Encender la unidad hidráulica (HPU), colocando la perilla en **ON**.
2. Reiniciar la unidad oprimiendo el botón "**Reset**".
3. Desbloquear el sistema sacando el botón rojo.
4. Verificar la posición de las válvulas. La válvula que controla la MTS-810 (capacidad del actuador de 10TN y capacidad de la celda de carga de 2.5 TN) debe estar en posición horizontal (abierta) y el resto en posición vertical (cerrada).
5. Encender el sistema que controla la Refrigeración. Al realizar esta maniobra se prende el bombillo rojo, cuando se enciendan los sistemas HPU y HSM se debe prender el bombillo verde automáticamente.

## DATOS DE ENTRADA

A continuación se muestran los comandos que se utilizan para realizar el ensayo de módulo dinámico a la mezcla asfáltica.

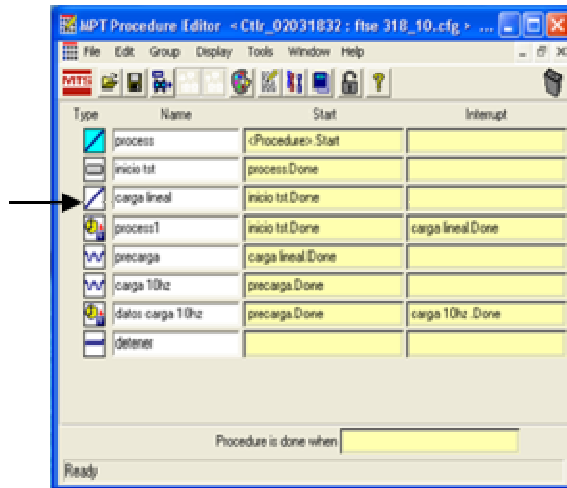
1. En el programa Station Manager dar click en el botón  para crear las especificaciones de la prueba.



2. Aparecerá el siguiente cuadro. Utilizando el “Process Palette” seleccionar los comandos que requiera para crear el procedimiento deseado.

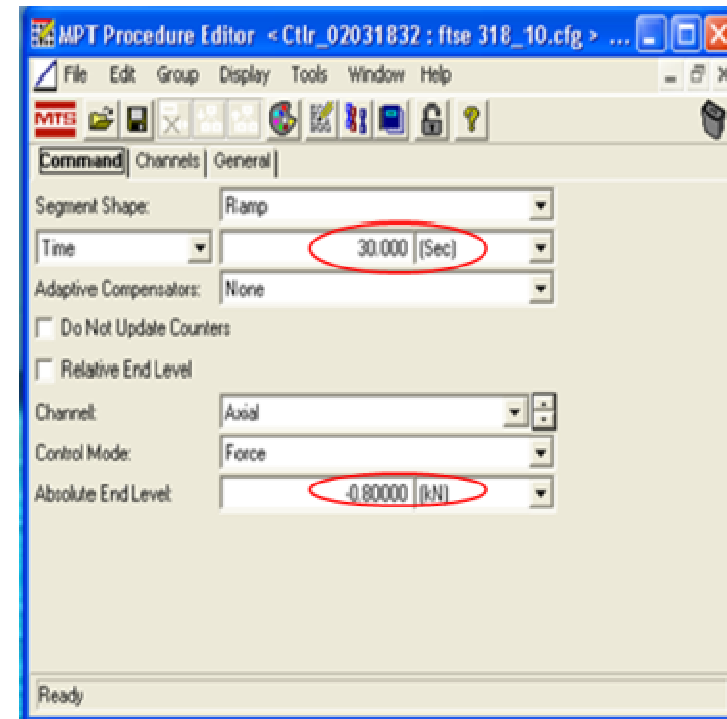


3. Dar click en carga lineal.

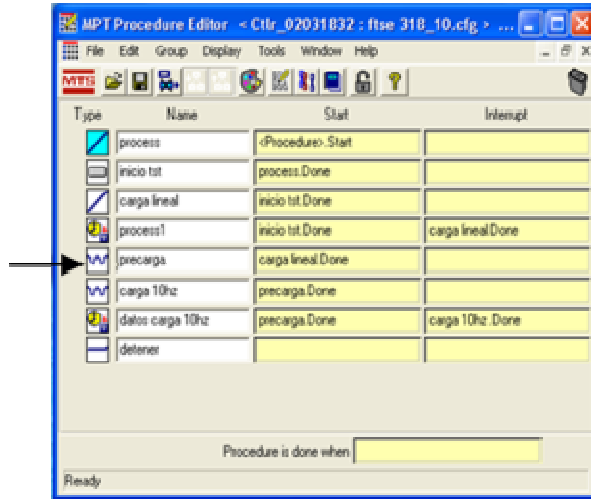


4. En la ventana que aparece escoger en cada pestaña los parámetros mostrados en la imagen.

En la parte señalada insertar el tiempo en el cual se alcanza la carga máxima lineal deseada y el 10% del valor de la carga dinámica deseada para el ensayo, guardar cambios.

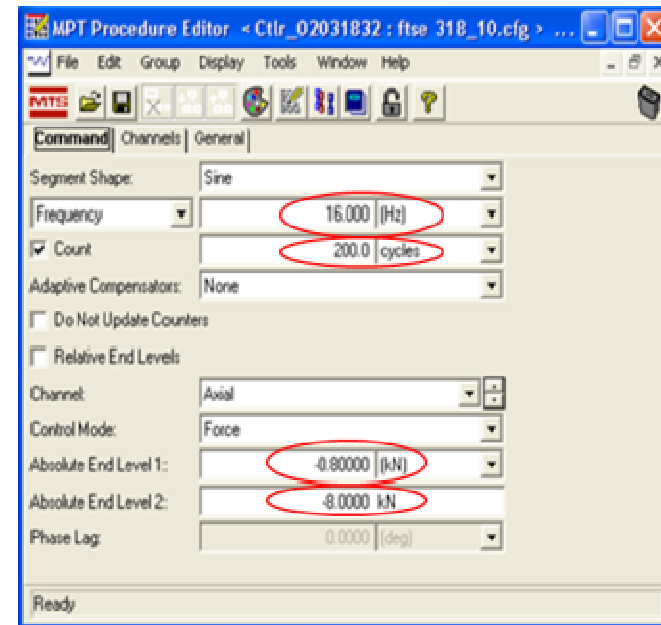


5. Regresar a la ventana anterior y dar clic en precarga.

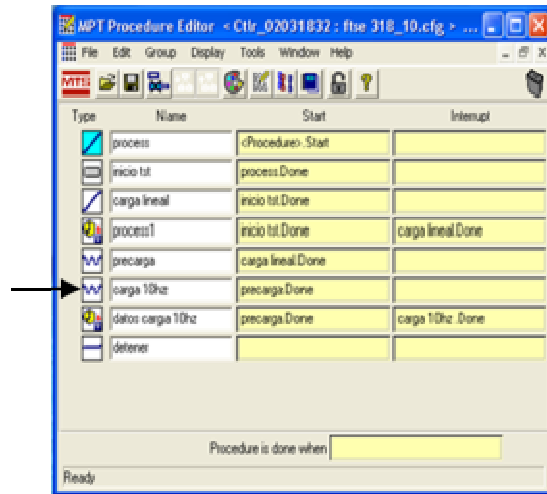


6. En la ventana que aparece escoger en cada pestaña los parámetros mostrados en la imagen.

En la parte señalada insertar, el valor de la frecuencia a la cual se va aplicar la carga sinusoidal, el número de ciclos determinados y se define los límites de carga en los cuales la onda va oscilar, el límite inicial es el 10% del valor de la carga dinámica y el límite final es el valor de la carga dinámica deseada con sus unidades, guardar cambios.

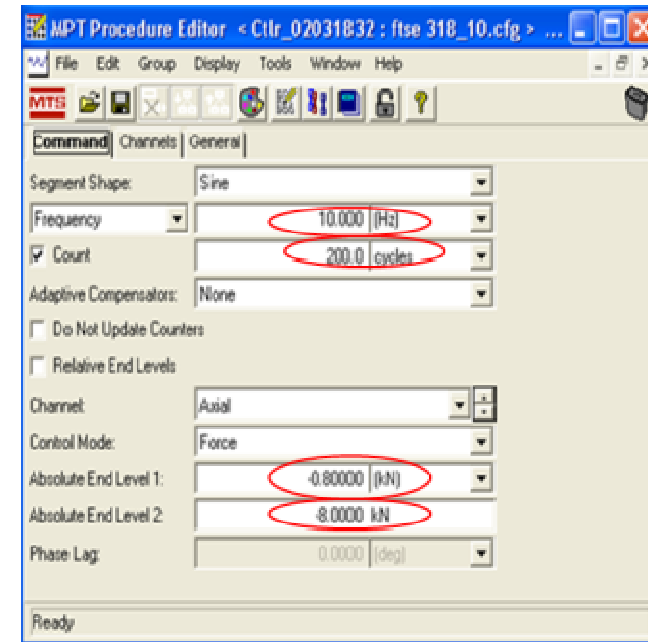


7. Regresar a la ventana anterior y dar click en carga 10hz.

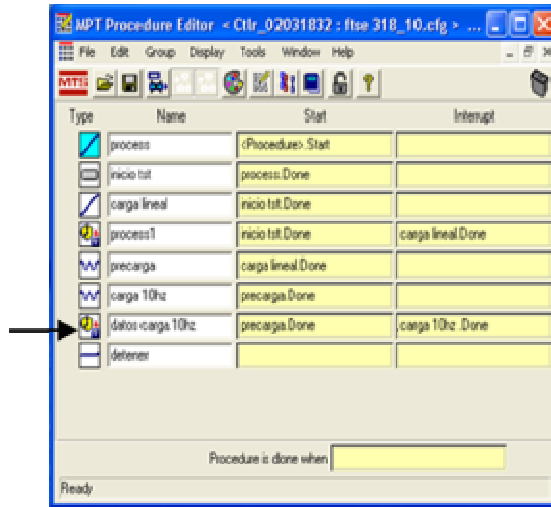


8. En la ventana que aparece escoger en cada pestaña los parámetros mostrados en la imagen.

En la parte señalada insertar, el valor de la frecuencia a la cual se va aplicar la carga sinusoidal, el número de ciclos determinados y se define los límites de carga en los cuales la onda va oscilar, el límite inicial es el 10% del valor de la carga dinámica y el límite final es el valor de la carga dinámica deseada con sus unidades, guardar cambios.



- Regresar a la ventana anterior y dar click en datos carga 10hz.



- En la ventana que aparece dar click en la pestaña **Acquisition** y escoger los parámetros mostrados en la imagen.

En la parte señalada insertar el delta de tiempo que requiere para adquirir los datos.

En nuestro caso se ilustra un ejemplo para la aplicación de una carga senosoidal a frecuencia de 10 Hz.

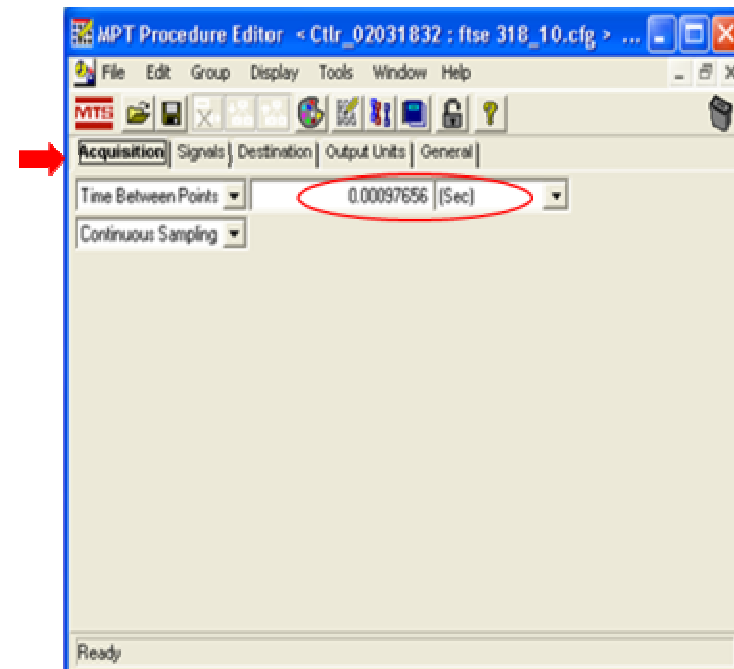
**Se requiere tomar la información de los últimos 5 ciclos.**

Para una onda sinusoidal la duración de un ciclo viene dada por:

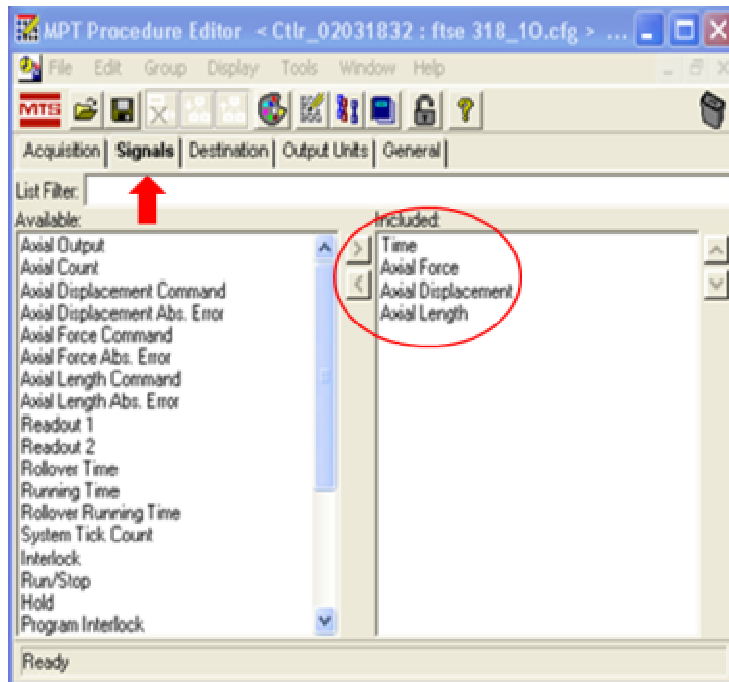
$$T = \frac{1}{f}$$

$$\text{T tiempo total} = 5 \times T$$

$$\Delta t = \frac{5T}{X} \quad X = \# \text{ de datos que se desean grabar}$$

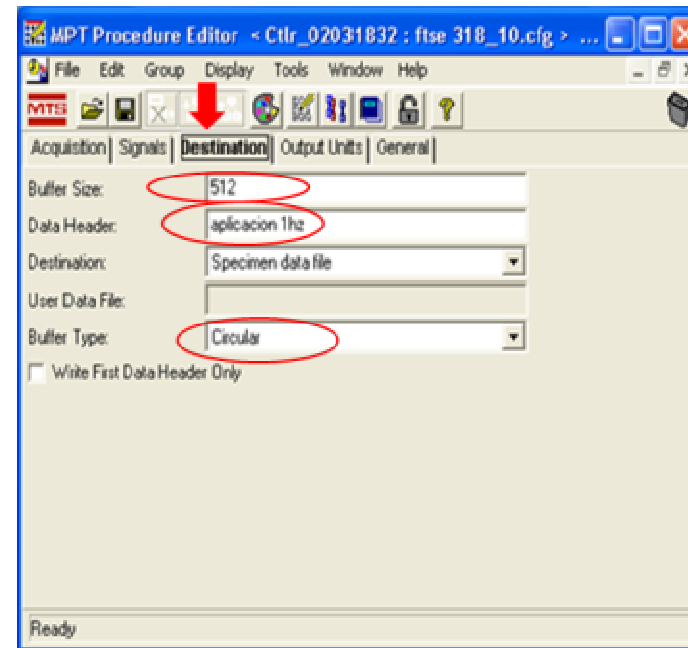


11. En la misma ventana dar click en la pestaña **Signals** y en la parte señalada incluir los datos que necesita que guarde el programa.

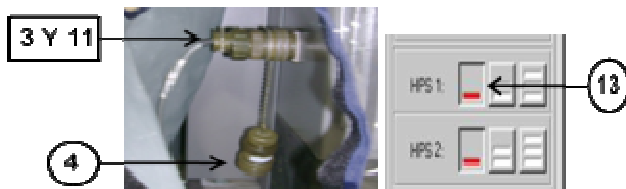
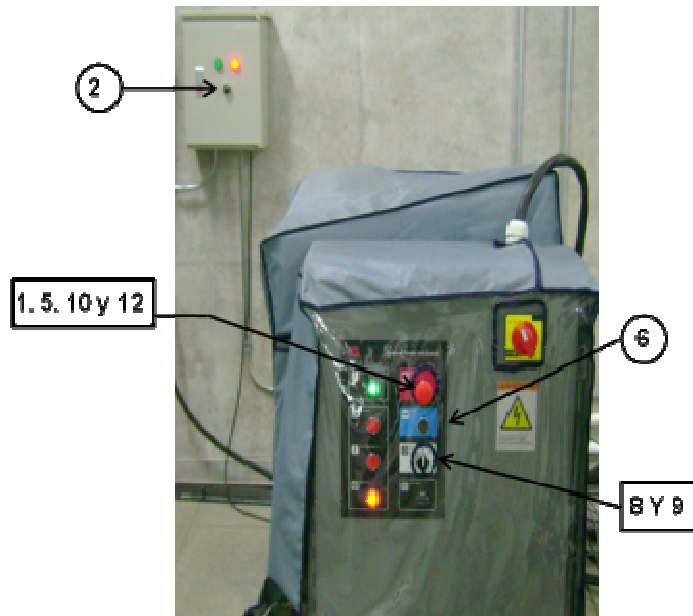


12. Por último dar click en la pestaña **Destination** escoger los parámetros mostrados en la imagen e insertar en la parte señalada, el número de datos que necesita que tome el programa, el nombre del ensayo, la forma de grabar los

datos y guardar cambios. Se escoge el parámetro “circular” porque permite grabar solamente la información de los últimos 5 ciclos.



## PASOS A SEGUIR EN CASO DE RECALENTAMIENTO POR TEMPERATURA DE LA HPU



1. Bloquear el sistema (oprimiendo el botón rojo).
2. Apagar el sistema de refrigeración.
3. Desconectar el jumper original.
4. Conectar el otro jumper.
5. Desbloquear el sistema sacando el botón rojo.
6. Oprimir el botón **“Reset”** de la HPU. Verificar el nivel de agua de la torre de enfriamiento.
7. Prender manualmente. Girar la perilla a la posición (I) y mantenerla en esta posición. Al mismo tiempo, oprimir el botón “reset” hasta apagar el bombillo “over-temperature” aproximadamente 2 minutos. Durante este proceso debe prenderse simultáneamente la torre de enfriamiento.
8. Retornar a la posición (II).
9. Bloquear el sistema oprimiendo el botón rojo.
10. Conectar el jumper original.
11. Desbloquear el sistema sacando el botón rojo.
12. Colocar el sistema desde el computador en posición mínima. Y esperar 5 minutos.