

**ESTUDIO DE VALIDACION DE UN ENSAYO DE MODULO COMPLEJO PARA  
EVALUAR EL EFECTO DEL AGUA EN CONCRETOS BITUMINOSOS.**

**GONZALO SMITH GONZALEZ VILLAR  
CARLOS FERNANDO SALAZAR MESA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ESTUDIO DE VALIDACION DE UN ENSAYO DE MODULO COMPLEJO PARA  
EVALUAR EL EFECTO DEL AGUA EN CONCRETOS BITUMINOSOS.**

**GONZALO SMITH GONZALEZ VILLAR  
CARLOS FERNANDO SALAZAR MESA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director**

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON  
Ingeniero Civil, Msc, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2015**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de investigación primeramente a Dios por permitirme ser quien soy y ayudarme en todo lo que emprendo, siempre recordando “TODO LO PUEDO EN CRISTO QUE ME FORTALECE”, (FIL 4:13).

A mis padres CIRA VILLAR Y HERNAN BONILLA por todo el tiempo que me han apoyo en todos los campos tanto financieros como sentimentales y animándome a seguir adelante y nunca desfallecer en mis metas.

A unos tíos en especial por el apoyo económico que me han brindado en este ciclo universitario, gracias.

A los laboratoristas del edificio ALVARO BELTRAN PINZON en donde se realizó el proyecto de investigación, por sus ayudas y cooperación hacia nosotros.

Al ingeniero EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZON por todo el tiempo que nos dedicó en las consultas y la paciencia que nos tuvo, muchas gracias profe.

Para ellos es esta dedicatoria del proyecto de investigación, GRACIAS.

CORDIALMENTE,  
GONZALO SMITH GONZALEZ VILLAR

## **DEDICATORIA**

A Dios porque sin su apoyo esta meta no hubiese sido posible alcanzarla.

Dedico el proyecto a mis padres por su dedicación y apoyo incondicional

A mi compañero de tesis por su colaboración y apoyo

**Carlos Fernando Salazar**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a:

Primeramente a Dios por ser nuestra guía en este camino, por brindarnos el conocimiento necesario para sacar la carrera adelante.

A nuestra familia por el apoyo brindado en estos años de estudios académicos.

A todas esas personas incondicionales que nos acompañaron paso a paso en nuestra vida universitaria.

Al ingeniero Eduardo Alberto Castañeda Pinzón por su tiempo, sus conocimientos, su experiencia, dedicación para el buen desarrollo de este proyecto y comprensión en todo este tiempo, muchas gracias.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	16
1. ESTADO DEL ARTE.....	17
1.1 ENSAYOS MECANICOS .....	18
1.2 ENSAYO DE COMPATIBILIDAD QUIMICA.....	19
2. METODOLOGIA .....	21
2.1 FABRICACIÓN PROBETAS .....	21
2.2 ACONDICIONAMIENTO.....	22
2.3 MEDIDA DE LA RIGIDEZ DE LA PROBETA.....	22
3. CARACTERIZACION DE MATERIALES .....	24
3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.....	24
3.1.1 Asfalto.....	25
3.2 ESTRUCTURA GRANULAR.....	25
3.3 ELABORACION Y COMPACTACION DE PROBETAS .....	26
4. ESTUDIO DEL EFECTO DEL AGUA .....	28
4.1. EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES DE RIGIDEZ.....	28
4.1.1. Módulo De Young .....	28
4.1.2. Angulo de Desfase O Pérdida.....	29
4.1.3. Metrovib DMA+1000 .....	29
4.2. ANALISIS DE RESULTADOS.....	34
5. CONCLUSIONES .....	36

6. RECOMENDACIONES.....37

BIBLIOGRAFIA.....38

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones Asfalto 60/70 .....	25
Tabla 2. Granulometrías .....	25
Tabla 3. Porcentaje de agregados .....	26
Tabla 4. Ecuaciones utilizadas por la máquina. ....	30
Tabla 5. Muestra P1.....	31
Tabla 6. Muestra P2.....	31
Tabla 7. Muestra P3.....	32
Tabla 8. Muestra P4.....	33
Tabla 9. Muestra P5.....	34

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Dimensiones del prototipo .....	21
Figura 2. Probeta .....	23
Figura 3. Agregados con ligante asfáltico .....	24
Figura 4. Compactación de Probetas.....	27
Figura 5. Tensión uniaxial.....	29

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica 1.Muestra P1-100% Sílice vítrea .....	30
Grafica 2. Muestra P2-100% CALIZA .....	31
Grafica 3. Muestra P3- 50% Sílice Vítrea- 50% Caliza .....	32
Grafica 4. Muestra P4 70% Sílice Vitrea-30% Caliza.....	33
Grafica 5. Muestra P5 30% Sílice Vitrea-70% Caliza.....	34

## RESUMEN

**TITULO: ESTUDIO DE VALIDACION DE UN ENSAYO DE MODULO COMPLEJO PARA EVALUAR EL EFECTO DEL AGUA EN CONCRETOS BITUMINOSOS.\***

**AUTORES: GONZALO SMITH GONZALEZ VILLAR  
CARLOS FERNANDO SALAZAR MESA\*\***

**PALABRAS CLAVES:** Asfalto, agregado, bitumen, probeta, pavimento.

El aumento de la construcción de la malla vial unido a las variadas condiciones climáticas, han venido demandando la construcción de concretos más durables. De esta manera, es bastante importante determinar las propiedades y el comportamiento de estos concretos bajo las diferentes condiciones que demanda el mercado.

La construcción de vías de alta calidad y durabilidad requiere del conocimiento de las características y el comportamiento de los materiales que la conforman. Desde principios del siglo XIX se usa intensivamente el asfalto en carreteras pavimentadas.

Factores como el medio ambiente y las cargas se han identificado como elementos que influyen significativamente en el deterioro de los concretos bituminosos. De igual forma, el agua y el envejecimiento son agentes importantes generadores de cambios en las propiedades de las carpetas asfálticas.

La presente investigación evalúa la factibilidad de emplear un ensayo donde se analiza la afectación que provoca el agua en los concretos bituminosos, mediante la medida de la rigidez de las probetas. En esta primera etapa no se logró un resultado adecuado y habrá que seguir estudiando más sobre la afectación provocada por el agua a las muestras, teniendo en cuenta el debido estudio del pre-acondicionamiento y estabilización que se le debe hacer a las probetas para garantizar que los ensayos no se alteren.

el estudio describió el deterioro de la rigidez de las probetas de mezcla asfáltica con agregado mineral en presencia de agua.

---

\* Trabajo De Grado

\*\* Facultad De Físico Mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Director. Eduardo Alberto Castañeda Pinzon

## ABSTRACT

**TITLE:: VALIDATION OF A COMPLEX MODULE TEST TO EVALUATE THE EFFECT OF WATER ON CONCRETE BITUMINOSOS.\***

**AUTHORS: GONZALO VILLAR GONZALEZ SMITH  
CARLOS FERNANDO SALAZAR TABLE \*\***

Keywords : Asphalt , aggregate, bitumen, specimen, pavement

The increase of highways united to climates conditions, has been demand other ways to make more durable concrete strength. On this ways, is very important to determinate the properties and the behavior of this material under different conditions of the market.

The road construction high quality and durability requires knowledge of the characteristics and behavior of the materials that comprise them. Since the early nineteenth century used intensively in the asphalt paved roads.

Factors such as the environment and loads have been identified as factors that significantly influence the deterioration of bituminous concrete. Similarly, the water and aging generating agents are important changes in the properties of the asphalt pavement.

This investigation proof the feasibility to use of the wáter in this type of concrete by the samples of the strength on the same. In this first step, we couldn't get the results and we need to continue studying the samples to see how the wáter can make any damage, having in mind the study and preconditions and the stabilization that need to be address to the specimens to guarantee that the samples can not be modify them.

The study described the deterioration of the stiffness of the specimens of asphalt with mineral aggregate in the presence of water.

---

\* Work Degree

\*\* Faculty of Physical Mechanics. School of Civil Engineering. Director. Eduardo Alberto Pinzon Castañeda

## INTRODUCCION

La mezcla asfáltica es un material compuesto por asfalto y agregado mineral, donde el primero de ellos actúa como un agente ligante y aglutinador de las partículas minerales, formando de esa manera una masa cohesiva, empleada como material en la construcción de pavimentos.

Dentro de este contexto se puede observar, que los productos asfálticos desarrollados en Colombia, han venido evolucionado y optimizando la impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad del producto.

Un componente que se debe tener presente en el deterioro de las mezclas asfálticas es el agua, ya que este líquido afecta la unión entre el asfalto y el agregado granular originando que los materiales pierdan su capacidad mecánica. Esta situación disminuye la vida útil del pavimento e incrementa los costos de mantenimiento y operación.

Por este motivo y como respuesta a la necesidad de incrementar la competitividad de los pavimentos y buscando minimizar los factores que inciden en él, se hace necesario mejorar sus características. La presente investigación es la continuación de un trabajo que se ha venido desarrollando, y se enfoca en el empleo de la evolución del módulo complejo para evaluar el efecto del agua, buscando mostrar las bondades del método. Para este efecto, el trabajo que aquí se presenta tiene el propósito de desarrollar un ensayo que evalué la permanencia o degradación de las propiedades mecánicas de un concreto asfáltico sometido a procesos de inmersión en agua.

## 1. ESTADO DEL ARTE

El agua es uno de los principales agentes que produce daño sobre la carpeta asfáltica. Esta se infiltra a través de los poros que se encuentran en la capa de rodadura, y seguidamente se mueve lentamente hacia el asfalto, destruyendo al final las fuerzas que mantienen unido el ligante asfáltico con los agregados minerales. Tal evento termina afectando la vida útil de los pavimentos.

El agua tiene una tensión superficial menor que la del asfalto, hecho que le permite moverse lentamente hacia el asfalto, y destruir las fuerzas que mantienen unida la capa del ligante al agregado. Esta sensibilidad al agua del asfalto y el agregado se ve influenciada por su naturaleza físico-química<sup>1</sup>.

El agua libre al interior de un pavimento puede deteriorar de 20 a 50 veces su capacidad estructural, constituyéndose en un factor climático erosivo peligroso<sup>2</sup>

Los mayores daños en los pavimentos son producidos por la infiltración de agua en las fisuras que se encuentran en la carpeta de rodadura<sup>3</sup> y la poca adhesión entre las partículas minerales y el ligante asfáltico.

Así mismo sugiere el autor<sup>4</sup>, que la adherencia agregado-asfalto ocurre por reacción química entre el asfalto y el agregado, y la calidad del agregado y la

---

<sup>1</sup> PÉREZ, V. Evaluación Del Efecto Del Agua En Vigas De Concreto Asfáltico Bajo Condiciones Inducidas De Humedad [Tesis De Maestría]. Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, 2012.

<sup>2</sup> CARO, S. GARCÍA, C. CAICEDO, B. Modelo Numérico Para Analizar El Efecto Del Clima En Pavimentos. Revista De Ingeniería – Universidad De Los Andes. Vol 15, Fasc 1, 2002, Pp 4-9.

<sup>3</sup> RIDGEWAY, H. Infiltration Ofwáterthrough The Pavement Surface. Transportation Research Record. Vol 616, 1976, Pp 98-100.

composición mineralógica es uno de varios factores, que afectan la magnitud de este fenómeno. La adhesión entre el ligante y el agregado pétreo es fuertemente dependiente de la mineralogía de este último material<sup>5</sup>. Otro hecho que se demostró es que la edad del pavimento tiene una alta influencia en el daño por humedad, ya que esta es uno de los factores que afecta en mayor grado el desempeño de la mezcla asfáltica, debido a que produce una degradación en las propiedades mecánicas del material por la presencia de agua en forma líquida o como vapor<sup>6</sup>.

A continuación se mencionan algunos tipos de ensayos utilizados, que permiten observar el daño causado por el agua.

## **1.1 ENSAYOS MECANICOS**

### **METODO DE LOTTMAN Y LOTTMAN MODIFICADO**

Se utilizan probetas de 4 pulgadas de diámetro por 2.5 pulgadas de altura, que son compactadas hasta alcanzar un porcentaje de vacíos del 4 al 8%. Las briquetas son divididas en dos grupos, en el que primero es sometido a esfuerzos de tensión indirecta (ITS) en condición seca y el segundo se somete a saturación mediante inducción de vacío seguido de ciclos de congelamiento y descongelamiento en agua tibia, para luego ser sometido al ensayo ITS.

---

<sup>4</sup> RONDÓN, H. MORENO, L. Influencia Del Agua En El Fenómeno De Stripping En Mezclas Asfálticas: Estudio Sobre El Ligante. Ingeniería Y Universidad- Pontificia Universidad Javeriana. Vol 14, Fasc 2, 2010, Pp 297-312.

<sup>5</sup> Ibid

<sup>6</sup> FERNÁNDEZ, W. RONDÓN, Q. REYES, F. Envejecimiento De Asfaltos Y Mezclas Asfálticas: Estado Del Conocimiento. Ingeniería E Investigación - Universidad Nacional De Colombia. Vol 33, Fasc 1, 2013, Pp 5-12

Mediante la comparación de los resultados de los grupos se obtienen los índices numéricos de las propiedades de la tensión indirecta. Este ensayo es usado para predecir a largo plazo la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas y en la evaluación de la efectividad de aditivos antistripping<sup>7</sup>;

#### ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO (AASHTO T283),

Este método fue propuesto por Kandhal y adoptado por la AASHTO en 1985. Combina el método de Lottman y el ensayo de Tunncliffe y Root. Seis especímenes se compactan a 6-8% de vacíos de aire, el grupo 1 que tiene 3 especímenes se usa para control. El grupo 2, que tiene 3 especímenes, se satura al vacío (55<sup>a</sup> 80% de saturación) con agua, y luego sometido a ciclos de congelamiento y deshielo como en el ensayo de Lottman. Todos los especímenes se ensayan por ITS a 25°C usando una tasa de 2 pulg/min, y se calcula el TSR.

$$\text{TSR} = \frac{\text{ITS de espécimen acondicionado}}{\text{ITS de espécimen de control}}$$

Un valor bajo de TSR indica elevada susceptibilidad de la mezcla asfáltica al agua.

## 1.2 ENSAYO DE COMPATIBILIDAD QUIMICA

#### ENSAYO, NET ADSORPTION TEST,

El objetivo de este ensayo es evaluar la habilidad de un asfalto a adherirse a la superficie de una porción de agregado fino y su sensibilidad a la humedad<sup>8</sup>. En el

---

<sup>7</sup> GAMBA, G. GONZALEZ, MERCADO, J. ORTEGA. Concepción De Un Ensayo Para Establecer El Efecto De La Presión De Poro En El Deterioro Por Humedad De Las Mezclas Asfálticas. [Tesis De Pregrado] Bucaramanga: Universidad Industrial De Santander, 2004.

<sup>8</sup> HERNÁNDEZ, AGUDELO Leonel. Estudio De Los Fenómenos De Adherencia (Stripping) Y Los Ensayos De Evaluación Del Comportamiento De La Interface Árido-Ligante En Mezclas Asfálticas.

ensayo se introduce una solución de ligante asfáltico y tolueno en una columna de reacción, luego 4 mililitros de solución son removidos y se determina su absorbancia por un espectrómetro. Se adicionan a la columna 50 gramos de agregado que pase el tamiz N°4 y se circula nuevamente la solución y se determina su absorbancia. Con la diferencia entre las dos lecturas de la absorbancia se determina la cantidad de asfalto que ha sido removida de la solución por atracción química entre los componentes moleculares del agregado y el ligante asfáltico. Después de que la segunda solución es retirada se adiciona a la columna de agua 1150 mililitros y se circula a través del sistema por dos horas. Se toma una solución final de 4 mililitros al cabo de dos horas. Se mide el incremento en la absorción por la cantidad de ligante asfáltico desplazado por las moléculas de agua.

#### ENSAYO DE AGUA EN EBULLICION (ASTM D3625 o variación)

La mezcla suelta se incorpora en agua en ebullición. ASTM D3625 especifica un periodo de 10 minutos. El área total cubierta del agregado expresado en porcentaje luego de la ebullición, será mayor o menor del 95%. Este ensayo podría utilizarse para evaluaciones preliminares de la mezcla. Algunas agencias de transportes usan este método para control de calidad de antistripping<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> LOS ASFALTOS COLOMBIANOS. Cartilla Práctica Para El Manejo De Los Asfaltos Colombianos. ECOPETROL. ICP. 1997

## 2. METODOLOGIA

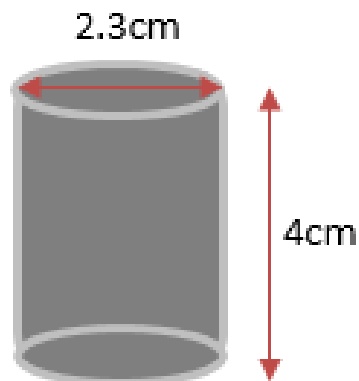
El trabajo aquí presentado estudia la evolución de la rigidez en el plano complejo de los materiales, antes y después de un proceso de inmersión en agua.

Se prepararon probetas de mezclas agregado-ligante asfáltico que fueron ensayadas en pruebas de rigidez bajo compresión dinámica, a diferentes temperaturas y frecuencias. Los ensayos se realizan antes y después de un proceso de inmersión del material en agua, para establecer los cambios en las propiedades mecánicas del material.

### 2.1 FABRICACIÓN PROBETAS

Dimensiones 4cm de altura y 2.3 cm de diámetro. La “Figura” 1 muestra el prototipo empleado

**Figura 1. Dimensiones del prototipo**



## **2.2 ACONDICIONAMIENTO**

Se realizó un pre-acondicionamiento a todas las probetas aplicándoles una carga de 50N a unas frecuencias de 1-10 Hz con el objeto de estabilizar la altura de la muestras y que de esta forma no presente cambios durante el ensayo.

La primera lectura del ensayo a compresión se realizó sobre las muestras pre-acondicionadas. Para producir un efecto del agua sobre el material, las muestras fueron sumergidas en agua en una cámara de vacío por 10 minutos con una presión de 30-40 cm de mercurio a temperatura ambiente para su saturación. Posteriormente, las probetas fueron sumergidas en agua a temperatura controlada de 40°C por 2 horas y ensayadas nuevamente midiendo su rigidez.

Acondicionamientos adicionales de inmersión en agua a 40°C, de 16 horas y de 3 horas, fueron posteriormente practicados.

## **2.3 MEDIDA DE LA RIGIDEZ DE LA PROBETA.**

El material de estudio está compuesto de 2 fracciones granulares, una de ellas de agregado con buena adhesión y otra con agregado de débil adhesión al ligante asfáltico.

El ensayo realizado midió el desfase entre la carga aplicada y la deformación que está teniendo el material, con el fin de medir la parte elástica y viscosa de la rigidez del material.

**Figura 2. Probeta**



### 3. CARACTERIZACION DE MATERIALES

El diseño de una mezcla asfáltica, consiste en seleccionar la calidad de los agregados y granulometría de la mezcla a emplear, así como el tipo y cantidad de asfalto de acuerdo al clima y a las cargas que estarán presentes durante la vida útil del pavimento.

#### 3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Inicialmente para el desarrollo del proyecto se propusieron 2 agregados: caliza y granito, de donde se seleccionó el material con mayor adhesión al ligante asfáltico. Para este efecto se llevó a cabo una prueba donde se colocaron cantidades iguales de distintos agregados pétreos sobre un espejo cubierto de ligante asfáltico 60/70, como se puede apreciar en la "Figura 3". Tal espejo se sumergió en agua a 60°C durante 24 horas, y posteriormente fue agitado, observando los materiales con buena y baja adhesión al ligante asfáltico.

**Figura 3. Agregados con ligante asfáltico**



Fuente: registro fotográfico propio

**3.1.1 Asfalto.** Se seleccionó un ligante asfáltico de penetración 60/70 con las características indicadas en la tabla 1.

**Tabla 1. Especificaciones Asfalto 60/70**

Características	Unidades	Métodos	Mínimo	Máximo
Ductibilidad a 25 °C, 5 cm/min	cm	D 113	100	
Penetración a 25 °C, 100 g 5 s	mm/10	D 5	60	70
Punto de ablandamiento	°C	D 36	45	55
Punto de inflamación	°C	D 92	232	
Solubilidad en Tricloroetileno	g/100g	D 2042	99	
Pérdida de masa	g/100	D 2872		1,0

Fuente: Ecopetrol

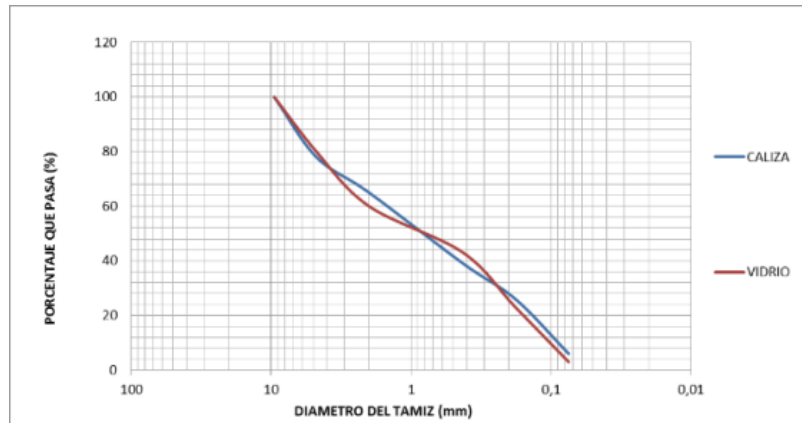
### 3.2 ESTRUCTURA GRANULAR

Se seleccionaron dos fracciones que permitieron producir probetas controladas en el porcentaje de agregados con buena adhesión al asfalto. Se ilustra en la "Tabla 2" y "Figura 4".

**Tabla 2. Granulometrías**

TAMIZ [mm]	Porcentaje que pasa	
	CALIZA	SILICE VITREA
9,5	100	100
4,75	78	80
2	65	60
0,425	39	43
0,18	26	23
0,075	6	3

**Figura 4.** Curvas Granulométricas



### 3.3 ELABORACION Y COMPACTACION DE PROBETAS

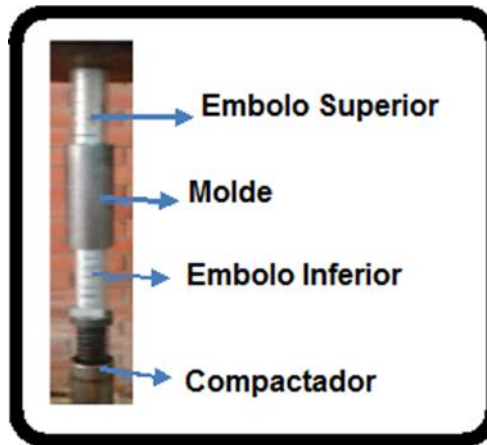
Se elaboraron probetas con 5 mezclas de 2 fracciones de agregados, una con agregado de baja adhesión al asfalto (sílice vítrea) y la otra fracción de caliza o agregado de buena adhesión (Tabla 3). Los materiales fueron calentados a temperatura de 160°C para agregados y de 150°C para el ligante asfáltico. Estos materiales se mezclaron, y seguidamente se vació la mezcla en un molde para su compactación.

**Tabla 3.** Porcentaje de agregados

MEZCLA	% de Agregados
P1	100% sílice vítrea
P2	100% Caliza
P3	50% sílice vitrea-50% caliza
P4	70% sílice vítrea- 30% caliza
P5	30% sílice vítrea- 70% caliza

La compactación se hizo a presión a doble émbolo con el fin de tener una densidad homogénea en toda la muestra, como se observa en la "Figura 5".

**Figura 4. Compactación de Probetas**



Inmediatamente después los moldes se dejaron enfriar para una mejor extracción de la muestra. Las muestras extraídas se ubicaron en un lugar fresco de 12-15 días aproximadamente, hecho que permitió que la muestra tomara una mayor consistencia.

## 4. ESTUDIO DEL EFECTO DEL AGUA

Para la realización de la investigación se ensayaron las probetas a una temperatura y diferentes frecuencias donde se expusieron a varios acondicionamientos y se observó la variación de la rigidez por efecto del agua.

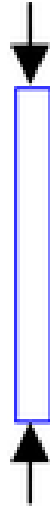
En el ensayo se aplica una fuerza senoidal y se mide la deformación. El desfase en tiempo entre carga aplicada y deformación, puede indicarse como un ángulo de desfase (ángulo delta).

### 4.1. EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES DE RIGIDEZ

La evolución de las propiedades de rigidez se observa en las siguientes gráficas donde se muestra la relación entre el Modulo de Young [E] y el ángulo de desfase o de pérdida [d].

**4.1.1. Módulo De Young.** Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Cuando se somete a una tensión uniaxial  $\sigma_E$ , la muestra sufre una expansión lineal de baja  $\epsilon_E$  con referencia al espesor. (Figura 6) El comportamiento del material se describe en la ecuación:  $\sigma_E = (K^*) \epsilon_E$

**Figura 5. Tensión uniaxial**



Fuente: DMA Suite-User Manual

**4.1.2. Angulo de Desfase O Pérdida.** El desfase entre dos ondas es la diferencia entre sus dos fases. Habitualmente, esta diferencia de fases, se mide en un mismo instante para las dos ondas.

**4.1.3. Metrovib DMA+1000.** La máquina trabaja con funciones, formulas, diseños, que ya se encuentran programados en ella para la realización de los resultados, esta puede trabajar a tensión, compresión, fatiga, etc., con diferentes tipos de materiales.

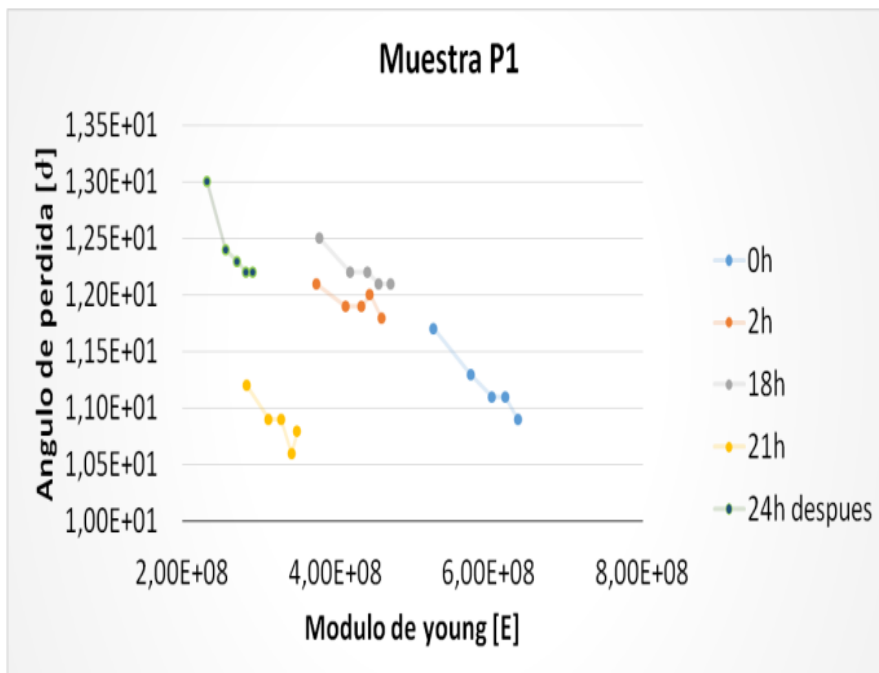
Las relaciones entre los tipos de módulo (figura7):

**Tabla 4. Ecuaciones utilizadas por la máquina.**

	G and $\mu$	E and $\mu$	K and $\mu$	G and E	G and K	E and K	G and L (2)
Poisson's coefficient: $\mu$ $1-2\mu =$ (1)				$\frac{E}{3G}$	$\frac{G/E}{1+G/3K}$	$\frac{E}{3K}$	$\frac{1}{L/G-1}$
Shear modulus $G =$		$\frac{E}{3(1+\mu)}$	$\frac{3K(1-2\mu)}{2(1+\mu)}$			$\frac{E}{3-E/3K}$	
Tension modulus $E =$	$3G(1+\mu)$		$3K(1-2\mu)$		$\frac{3G}{1+G/3K}$		$\frac{3G(1-4G/3K)}{1-G/L}$
Compressibility modulus $K =$	$\frac{3G(1+\mu)}{2(1-2\mu)}$	$\frac{E}{3(1-2\mu)}$		$\frac{G}{3(K/E-1)}$			$\frac{L}{3} \frac{4G}{3}$
Uniaxial strain modulus $L =$	$\frac{3G(1-\mu)}{1-2\mu}$	$\frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}$	$\frac{3K(1-\mu)}{1+\mu}$	$\frac{G(4G/E-1)}{3G/E-1}$	$\frac{4G}{E+3}$	$\frac{K(1+E/3K)}{1-E/9K}$	

Fuente: DMA Suite-User Manual

**Grafica 1. Muestra P1-100% Sílice vítrea**

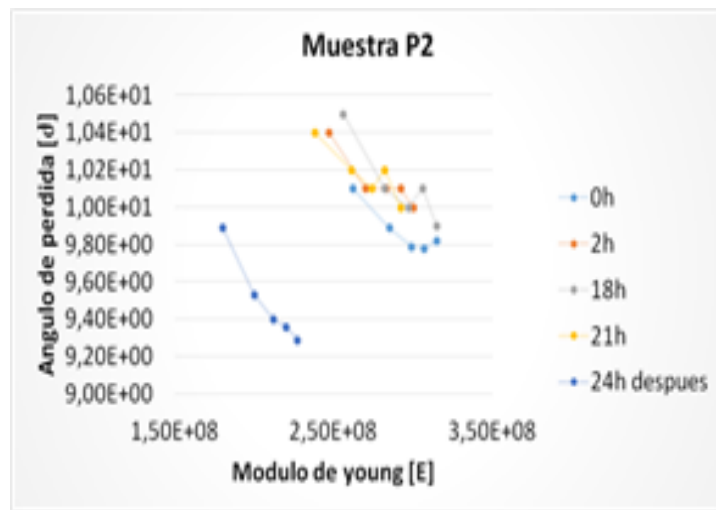


**Tabla 5. Muestra P1**

	Angulo de perdida[đ]	Modulo de young [E]	E/cos đ [Mpa]	Deterioro %
0h	1.25E+01	4.30E+08	430	0
2h	1.20E+01	3.90E+08	390	9.30
18h	1.22E+01	4.10E+08	410	4.65
21h	1.12E+01	3.29E+08	329	23.49
24h	1.15E+01	3.50E+08	350	18.60

Con los ensayos practicados sobre la muestra P1 Después de 2 horas se observa que hay un deterioro en el material el cual es el esperado, pero también hay recuperación mínima de un ensayo a otro.

**Grafica 2. Muestra P2-100% CALIZA**



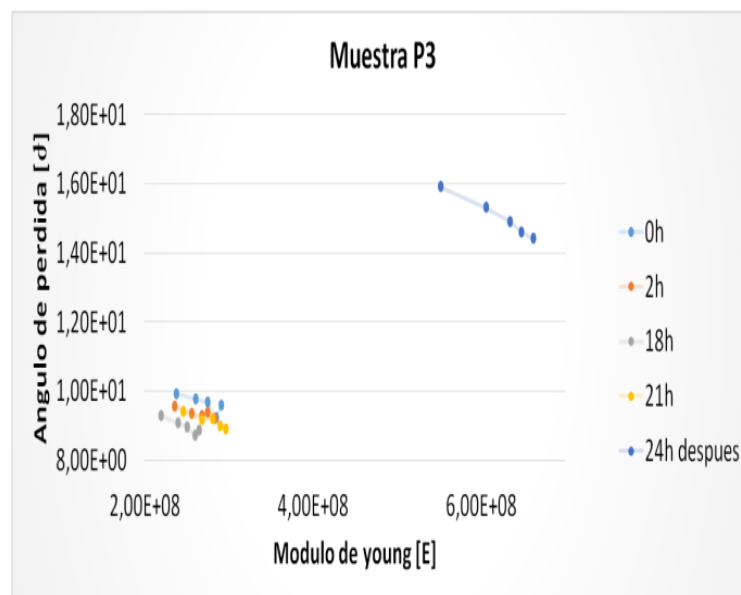
**Tabla 6. Muestra P2**

	Angulo de perdida[đ]	Modulo de young [E]	E/cos đ [Mpa]	Deterioro %
0h	1.01E+01	2.62E+08	262	0
2h	1.01E+01	2.72E+08	272	-3.8
18h	1.01E+01	2.82E+08	282	-7.6
21h	1.01E+01	2.70E+08	270	-3.1
24h	9.4	2.10E+08	210	19.8

Sobre la probeta 2, después de 2 horas se observa un mejoramiento del material y en los siguientes procesos de inmersión en agua salvo el de las 24 horas se produce el mismo efecto.

Los resultados indicarían que en el material se produce mejoramiento, lo cual resulta contradictorio de lo que se espera del efecto del agua.

**Grafica 3. Muestra P3- 50% Sílice Vítreo- 50% Caliza**



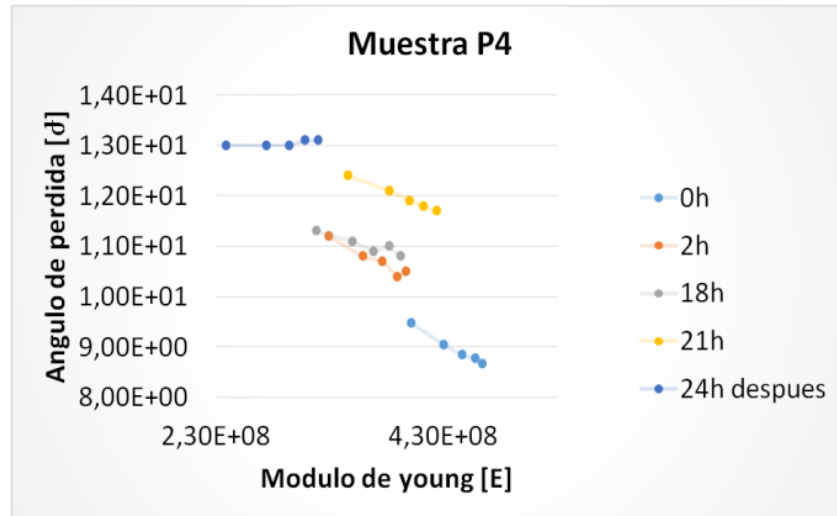
**Tabla 7. Muestra P3**

	Angulo de perdida[δ]	Modulo de young [E]	E/cos δ [Mpa]	Deterioro %
0h	9.90E+00	2.50E+08	250	0
2h	9.41E+00	2.46E+08	246	1.6
18h	8.97E+00	2.40E+08	240	4
21h	9.41E+00	2.46E+08	246	1.6
24h	1.53E+01	6.06E+08	606	-142.4

Sobre la probeta 3 se observa un comportamiento similar a la muestra P1 con un menor porcentaje de deterioro, observándose también una inconsistencia en la

inmersión en agua a las 24 horas ya que al parecer la muestra sufre un mejoramiento del material en más del 100%.

**Grafica 4. Muestra P4 70% Sílice Vitrea-30% Caliza**

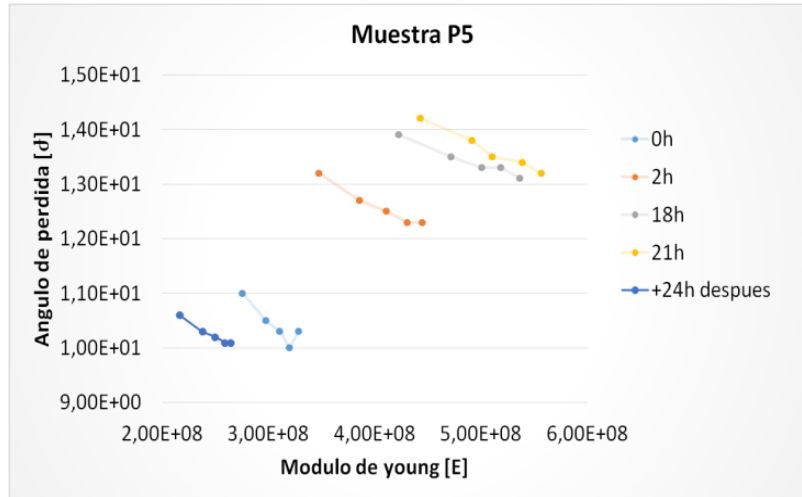


**Tabla 8. Muestra P4**

	Angulo de perdida[δ]	Modulo de young [E]	E/cos δ [Mpa]	Deterioro %
0h	1.00E+08	3.20E+08	335	0
2h	1.08E+01	3.59E+08	359	-7.08
18h	1.09E+01	3.68E+08	368	-9.77
21h	1.20E+01	3.80E+08	380	-13.34
24h	1.25E+01	3.85E+08	385	-14.84

Sobre la probeta 4 no se observa deterioro en el material, lo cual resulta contradictorio de lo que se espera del efecto del agua.

**Grafica 5. Muestra P5 30% Sílice Vitrea-70% Caliza**



**Tabla 9. Muestra P5**

	Angulo de perdida[δ]	Modulo de young [E]	E/cos δ [Mpa]	Deterioro %
0h	1.00E+01	3.20E+08	320	0
2h	1.25E+01	4.00E+08	400	-25
18h	1.35E+01	4.25E+08	425	-32.8125
21h	1.40E+01	4.45E+08	445	-39.0625
24h	1.10E+01	2.50E+08	250	21.875

Sobre la probeta 5 se observa un comportamiento similar al de la muestra anterior (P4), exceptuando el resultado de las 24 horas de inmersión en agua el cual si presenta deterioro del material.

#### 4.2. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados no son coherentes, algunas probetas presentan un comportamiento de deterioro por efecto del agua, y en otras el material aumenta su rigidez.

Los comportamientos observados pudieran deberse a:

Posiblemente la probeta no alcanzo la temperatura de ensayo en el tiempo que se hizo la adecuación, la cual fue de 30 minutos de estabilización de una temperatura ambiente a 5°C.

Al realizar las pruebas con una carga determinada esta puede estar cambiando por un proceso de deformación que la pudiera densificar y esto afecta los resultados.

## 5. CONCLUSIONES

Se consideró una temperatura de 5°C como baja, y altas frecuencias 10, 20, 30, 40, y 50 Hz por recomendaciones de investigaciones anteriores, una vez establecido los datos y obteniendo como resultado que las propiedades mecánicas de la muestras si sufrieron cambios diferentes a su estado inicial, observando mejoramiento en unas y deterioro en otras probetas, ocasionado por la temperatura y las frecuencias utilizadas para el ensayo.

Inicialmente se elaboraron vigas rectangulares y circulares, para poder comparar y elegir la que mejor se adaptara a la maquina METROVIB DMA+1000 para realizar los ensayos, la viga circular fue la que mejor se adaptó para este proceso, se demostró en algunas muestras que la rigidez de las probetas aumento y disminuía según transcurría el tiempo después de un proceso de inmersión en agua y luego de ser ensayadas, algo que es contradictorio ya que se esperaba que siempre disminuyera su rigidez como muestra de un deterioro de las probetas.

Después de los ensayos realizados a las probetas en la maquina METROVIB y en los análisis de resultados obtenidos se llegó a la conclusión que el método no funciono debido a que los datos no son coherentes, esto ocasionado por diferentes factores como falta de tiempo de estabilización de la muestras en la máquina, el tener que trabajar con la misma probeta en las diferentes pruebas, esto pudo haber generado un error en los cálculos realizados por la máquina.

## **6. RECOMENDACIONES**

Se debe hacer un estudio más profundo para garantizar que la probeta no sufra variaciones importantes después del proceso de pre-acondicionamiento o estabilización. Observando los resultados de la misma probeta con diversos tiempos de acondicionamiento se puede establecer el tiempo mínimo del mismo.

Se recomienda hacer un estudio donde se analice el comportamiento de la probeta a 30 minutos, 1 hora, 3 horas y observar si se rigidiza la probeta o cambia con la temperatura. Ensayos de fluencia, pudieran también emplearse, para determinar la estabilidad de la probeta.

Se aconseja realizar un pre-acondicionamiento de las probetas en temperatura, para cuando se realice ensayos a una temperatura menor a la ambiente, para esto es posible introducir las probetas en un ambiente de baja temperatura e inmediatamente llevar a cabo los ensayos; logrando un enfriamiento total de las probetas.

## BIBLIOGRAFIA

CARO, S. GARCÍA, C. CAICEDO, B. Modelo numérico para analizar el efecto del clima en pavimentos. Revista de Ingeniería – Universidad de los Andes. Vol 15, fasc 1, 2002, pp 4-9.

FERNÁNDEZ, W. RONDÓN, Q. REYES, F. Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: Estado del conocimiento. Ingeniería e Investigación - Universidad Nacional de Colombia. Vol 33, fasc 1, 2013, pp 5-12

GAMBA, G. GONZALEZ, MERCADO, J. ORTEGA. Concepción de un ensayo para establecer el efecto de la presión de poro en el deterioro por humedad de las mezclas asfálticas. Tesis de pregrado Bucaramanga: Universidad industrial de Santander, 2004.

H. DI BENEDETTO, M. Stiffness testing for bituminous mixtures. RILEM TC 182-PEB. 2001

HERNÁNDEZ, AGUDELO Leonel. Estudio de los fenómenos de adherencia (Stripping) y los ensayos de evaluación del comportamiento de la interface árido-ligante en mezclas asfálticas.

LOS ASFALTOS COLOMBIANOS. Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos. ECOPETROL. ICP. 1997

LUQUE, M. ARDILA, SÁNCHEZ, E. Quintanilla. Estudio del efecto combinado de agua y envejecimiento del asfalto en la rigidez de concretos bituminosos. [Tesis de pregrado]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

PÉREZ, V. Evaluación del efecto del agua en vigas de concreto asfáltico bajo condiciones inducidas de humedad [Tesis de Maestría]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.

RIDGEWAY, H. Infiltration of water through the pavement surface. Transportation Research Record. Vol 616, 1976, pp 98-100.

RONDÓN, H. MORENO, L. Influencia del agua en el fenómeno de stripping en mezclas asfálticas: estudio sobre el ligante. Ingeniería y Universidad- Pontificia Universidad Javeriana. Vol 14, fasc 2, 2010, pp 297-312.