

**RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS  
ASFALTICOS BAJO CARGA ESTÁTICA Y DINÁMICA**

**SERGIO ARMANDO CHÁVEZ VESGA**

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

**2008**

**RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS  
ASFALTICOS BAJO CARGA ESTÁTICA Y DINÁMICA**

**SERGIO ARMANDO CHÁVEZ VESGA**

**Tesis de grado modalidad investigación**

**Para opta título de:**

**Ingeniero civil**

**Director:**

**EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN**

**Ingeniero Civil, M. Sc., Ph D**

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

**2008**

A mi mamá Margy , mi papá Armando, mi nono Luis, mi nona Vitalia, mi  
hermana Luz Helena y mi novia Yenny.

Sergio Armando Chávez V.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ing. Eduardo Castañeda Pinzón

Daniel Garavito, Jairo Hernández y Germán Hernández.

Paviandi.

Tecno Pavimentos.

A mis compañeros Jaime, Nestor, Lyda, Taco, Adriana, Yudith, Raul y Yerly que también trabajaron en proyectos de pavimentos con migo.

A todos mis amigos y Familiares.

## **TABLA DE CONTENIDO**

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	14
1.1. MÓDULO DINÁMICO	14
1.1.1. Módulo de rigidez	14
1.1.2. Módulo resiliente	15
1.1.3. Módulo complejo dinámico	16
1.1.4. Módulo de resistencia dinámica	17
2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	18
2.1. DESCRIPCIÓN	18
2.2. MATERIALES EMPLEADOS	18
2.2.1. Agregado mineral	18
2.2.2. Asfalto	18
2.3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS	18
2.3.1 Metodología usada para la fabricación de probetas	20
2.4. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS	21
2.4.1. Medición de Densidad Bulk, Gmm y Contenido de Vacíos	21
2.4.2. Determinación del Módulo de Rigidez	21
3. RESULTADOS	23
3.1. Caracterización de Probetas	23
3.1.1. Nomenclatura	23
3.1.2. Geometría	23

3.2. Densidad de Bulk, Gravedad máxima medida y Porcentaje de vacios	23
3.2.1. Densidad de Bulk (Gb)	24
2.2. Gravedad máxima medida (Gmm)	24
3.2.3. Porcentaje de Vacios	24
3.3. Módulo de Rigidez	25
3.3.1. Pro 60-70	26
3.3.2. Pro 80-100	27
3.3.3. TP 60-70	29
3.3.4. TP 80-100	30
3.3.5. P 60-70	32
3.3.6. P 80-100	33
4. Análisis de Resultados	35
4.1. Variación del módulo elástico	35
5. RECOMENDACIONES	40
6. CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Rangos granulométricos MDC-2	19
Tabla 2.2. Diseños de mezclas	19
Tabla 2.3. Porcentajes de asfalto	19
Tabla 3.1. Densidad de Bulk	24
Tabla 3.2. Gravedad máxima medida	24
Tabla 3.3. Porcentaje de Vacios	24
Tabla 4.1. Coeficientes $K_1$	37
Tabla 4.2. Coeficiente $K_2$	38

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Modelos mecánicos para un material visco-elástico	12
Figura 1.2. Comportamiento visco-elástico-plástico	15
Figura 1.3. Deformación bajo ciclos de carga	16
Figura 1.4. Carga sinusoidal	16
Figura 1.5. Carga ondulatoria con periodo de descanso	17
Figura 2.1. Compactación de la probeta en la máquina universal	21
Figura 2.2. Medida del módulo de rigidez en la máquina Marshall	22
Figura 3.1. Pro 60-70 promedio, T=15°C	26
Figura 3.2. Pro 60-70 promedio, T=25°C	26
Figura 3.3. Pro 60-70 promedio, T=35°C	27
Figura 3.4. Pro 80-100 promedio, T=15°C	27
Figura 3.5. Pro 80-100 promedio, T=25°C	28
Figura 3.6. Pro 80-100 promedio, T=35°C	28
Figura 3.7. TP 60-70 promedio, T=15°C	29
Figura 3.8. TP 60-70 promedio, T=25°C	29
Figura 3.9. TP 60-70 promedio, T=35°C	30
Figura 3.10. TP 80-100 promedio, T=15°C	30
Figura 3.11. TP 80-100 promedio, T=25°C	31
Figura 3.12. TP 80-100 promedio, T=35°C	31
Figura 3.13. P 60-70 promedio, T=15°C	32
Figura 3.14. P 60-70 promedio, T=25°C	32
Figura 3.15. P 60-70 promedio, T=35°C	33
Figura 3.16. P 80-100 promedio, T=15°C	33
Figura 3.17. P 80-100 promedio, T=25°C	34
Figura 3.18. P 80-100 promedio, T=35°C	34
Figura 4.1. Coeficiente $K_1$	35
Figura 4.2. Coeficiente $K_2$	36

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	43
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS	52
ANEXO C: ENSAYOS MÓDULO DE ELASTICIDAD	56

## RESUMEN

### TÍTULO:

RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS ASFÁLTICOS BAJO CARGA ESTÁTICA Y DINÁMICA<sup>i</sup>

### AUTOR:

CHÁVEZ VESGA, Sergio Armando<sup>ii</sup>

### PALABRAS CLAVES:

MÓDULO DE ELASTICIDAD  
MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO  
MÓDULO DE ELASTICIDAD DINÁMICO  
MEZCLA DENSA EN CALIENTE DOS

### DESCRIPCIÓN

La aplicación de cargas dinámicas en probetas de concreto asfáltico es uno de los avances más importantes para la búsqueda de simulaciones más reales en una vía.

En este proyecto se adelanta la fase inicial de un estudio que pretende establecer la relación entre el módulo de elasticidad estático y dinámico de mezclas bituminosas. Se realizó el análisis del módulo de elasticidad estático de tres mezclas densas en caliente MDC-2, a tres temperaturas y tres velocidades de carga para que en un futuro sea evaluado el módulo dinámico de las mismas.

Se fabricaron las probetas de la mezcla MDC-2 de acuerdo a los requerimientos normativos de su diseño, según el método de resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas, se hicieron probetas con una altura igual a su diámetro, empleando agregado de la cantera de Pescadero (Santander) y asfalto 60-70 y 80-100.

Las probetas fueron sometidas a compresión simple mediante la máquina de Marshall, aplicando velocidades de carga de 0.25, 0.60 y 2"/min a temperaturas de 15, 25 y 35°C, para así conocer el módulo de elasticidad quasi-estático de las mezclas a las diferentes variables aplicadas.

Las mezclas bituminosas, a mediada que se les aplicaba mayor velocidad de carga, su módulo de elasticidad aumentaba, porque tenían pequeñas deformaciones; y a medida que se les aumentaba su temperatura, el módulo de elasticidad disminuía porque se presentaban mayores deformaciones, debido a que un material visco-elástico se deforma de manera proporcional a su temperatura.

---

<sup>i</sup> Tesis de grado

<sup>ii</sup> Facultad de ingenierías físico mecánicas. Ingeniería civil. ING. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

## ABSTRACT

### TITLE:

RELATIONSHIP BETWEEN MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE ASPHALT ON CHARGES STATIC AND DYNAMIC<sup>i</sup>

### AUTHOR:

CHÁVEZ VESGA, Sergio Armando<sup>ii</sup>

### KEYWORDS

ELASTIC MODULUS  
DYNAMIC ELASTIC MODULUS  
STATIC ELASTIC MODULUS  
DENSE HOT MIXTURE

### DESCRIPTION

The implementation of dynamic loads in test tubes of asphalt concrete is one of the most important advances in the ongoing research that looks for more real simulations in a way.

This project is the initial phase of a study that seeks to establish the relationship between the correlation of static and dynamic elastic modulus of bituminous mixtures. We performed the static elastic modulus analysis of three dense hot mixtures MDC-2, using three temperatures and three *load velocities* to be able to assess the dynamic modulus of the probes in a future work.

Test tubes of the mixture MDC-2 were elaborated according to the regulatory requirements of their design following the single compression strength method for asphalt mixtures. The test tubes had its height equal to the diameter, and it was used Pescadero aggregate quarry (Santander) and asphalt 60-70 and 80-100.

The test tubes were subjected to simple compression using the Marshall machine applying load velocities of 0.25, 0.60 and 2 "/ min at temperatures of 15, 25 and 35 ° C, so that we could calculate quasi-static elastic modulus with the different variables applied.

As higher load velocities were applied to the asphalt mixtures increasing elastic modulus were observed. This due to small deformations obtained. On the other hand, higher temperatures applied resulted in decreasing elastic modulus due to bigger deformations as was expected in a visco-elastic material which deforms in direct proportion to its temperature.

---

<sup>i</sup> Degree Thesis

<sup>ii</sup> Physical-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering. ING. EDUARDO ALBERTO CASTAÑEDA PINZÓN

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda de simulaciones más reales para las condiciones de una vía en los laboratorios ha sido primordial para determinar las propiedades mecánicas de los pavimentos de manera más precisa. Los métodos de simulación cada vez son más exactos y se pueden realizar diseños más confiables para garantizar economía y seguridad en las carreteras.

La aplicación de cargas dinámicas en probetas es uno de los avances más importantes y a partir de estas se puede obtener el módulo dinámico de los pavimentos, el cuál es más confiable que el estático y generalmente es mayor.

En el laboratorio de pavimentos de la Universidad de Industrial de Santander se realizan ensayos para determinar el módulo de elasticidad estático mediante la aplicación de cargas constantes. Actualmente la universidad adquirió una máquina en la cuál se pueden hallar módulos de elasticidad dinámicos y será de gran utilidad para investigaciones futuras.

Con este proyecto se buscaba establecer una relación entre los módulos de elasticidad estáticos a diferentes tipos de mezcla, experimentando con las variables velocidad y temperatura, lo cual constituye la primera fase de esta investigación.

# 1. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

## 1.1. MÓDULO DINÁMICO

La determinación de ésta propiedad mecánica fundamental es una forma de identificar la relación funcional existente en una mezcla asfáltica entre el esfuerzo y la deformación.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde

$E$  = Módulo Dinámico

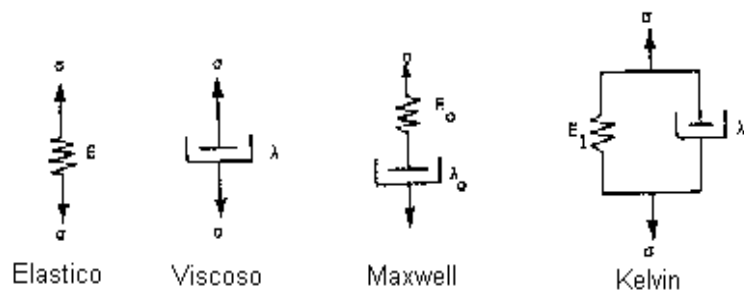
$\sigma$  = Esfuerzo

$\varepsilon$  = Deformación unitaria

**1.1.1. Módulo de rigidez.** En una mezcla bituminosa es la relación entre esfuerzo y deformación unitaria. Ésta es, quizás, la propiedad fundamental más importante pues proporciona información sobre cuanto se puede deformar el material bajo la acción de una carga dada y su relación con la rotura por fatiga, la deformación permanente y la repartición de cargas. El módulo de rigidez ( $E$ ) de una mezcla bituminosa depende tanto de la temperatura como de la velocidad a la cual se le aplica la carga.

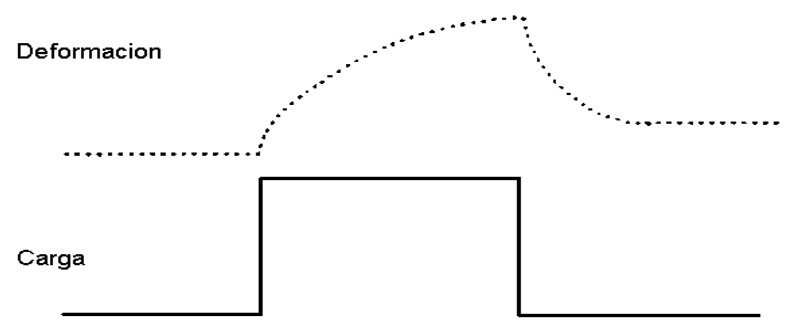
Una mezcla bituminosa no actúa como la mayoría de los otros materiales. Esto es principalmente porque el asfalto, uno de sus componentes, es un material visco-elástico. El comportamiento de un material simplemente elástico puede ser representado por un resorte, el de un material simplemente viscoso por el desplazamiento de un pistón y la respuesta de un material visco-elástico se podría simular conectando el resorte al pistón, en serie o en paralelo (modelos de Maxwell y Kelvin respectivamente) en donde el resorte puede regresar la deformación a cero y algo del desplazamiento del pistón es irrecuperable.

*Figura 1.1. Modelos mecánicos para un material visco-elástico*



Este tipo de comportamiento se refleja claramente en la dependencia del valor del módulo a la frecuencia de aplicación de la carga: al someter un material a una sollicitación rápida (simulando el paso de un vehículo a alta velocidad) la deformación obtenida es pequeña, por lo cuál el valor del módulo será mayor que el obtenido mediante la aplicación de una sollicitación lenta (simulando el paso de un vehículo a velocidades bajas o estacionado) pues de ésta manera la deformación obtenida es mayor y por lo tanto el valor del módulo menor. Ésta particularidad se presenta debido a que el comportamiento del componente viscoso de una mezcla (el asfalto) depende de la duración del período de carga, a mayor tiempo de carga mas fluido se vuelve el asfalto.

**Figura 1.2.** Comportamiento visco-elástico-plástico

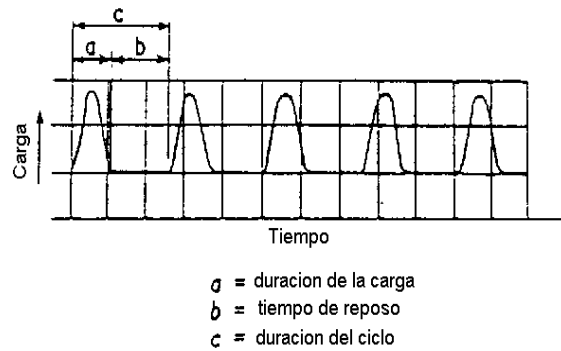


**1.1.2. Módulo resiliente.** Es el módulo elástico, regido como su nombre lo indica por la teoría elástica, por lo tanto el módulo se determina con la porción recuperable de la deformación. Es bien conocido que la mayoría de los materiales de un pavimento no son elásticos por lo tanto experimentan alguna deformación permanente después de cada aplicación de carga. Sin embargo, si la carga es pequeña comparada con la resistencia del material y se repite por un gran número de tiempo, la deformación bajo cada repetición de carga es: proporcional a la carga, recuperable casi completamente y puede considerarse elástica. Los ensayos diseñados para determinar este módulo utilizan cargas de cualquier forma ondulatoria con un tiempo de descanso dado; con lo cual se busca simular lo que realmente ocurre en una vía: cuando una carga de rueda está a una distancia considerable de un punto dado del pavimento, el esfuerzo en ese punto es cero; cuando la carga está directamente sobre dicho punto, los esfuerzos en ese punto son máximos. Como por lo general las cargas aplicadas a este tipo de pruebas son bajas, los ensayos para determinar el módulo resiliente se consideran de tipo no destructivo, es decir que por medio de su aplicación se pueden obtener todos los parámetros necesarios para determinar las propiedades mecánicas del material sin destruir o alterar la probeta.

Se debe tener en cuenta que para poder tomar la deformación como recuperable, ésta se debe determinar después del ciclo de carga número 200 o



**Figura 1.5.** Carga ondulatoria con periodo de descanso



La otra gran diferencia es que el módulo complejo dinámico se determina con deformaciones elásticas e inelásticas mientras que en el resiliente solo se tienen en cuenta las deformaciones elásticas. El módulo complejo es uno de varios métodos para describir la relación esfuerzo-deformación de los materiales visco-elásticos.

El ensayo de módulo complejo usualmente se aplica a muestras cilíndricas sometidas a cargas de compresión. Se puede usar el mismo equipo utilizado para determinar el módulo resiliente. Como ya se había explicado anteriormente el valor de módulo dinámico varía con la frecuencia de las cargas aplicadas. Debe seleccionarse una frecuencia que simule lo más cercanamente posible las cargas debidas al tráfico que se tienen proyectadas para la vía.

**1.1.4. Módulo de resistencia dinámica.** Es el mismo módulo resiliente pero su particularidad radica en que se determina mediante la deformación resiliente obtenida en la repetición de carga número 200.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NARANJO VESGA, Jesús Alberto, PINILLA MEDINA, Ricardo. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS ASFÁLTICAS CON MUESTRAS SEMICILÍNDRICAS. Proyecto de grado. UIS 2001.

## 2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 2.1. DESCRIPCIÓN

En resumen, esta investigación se desarrolló alcanzando las siguientes etapas:

- Consulta bibliográfica
- Caracterización de materiales
- Diseño y fabricación de probetas
- Ensayo de muestras
- Análisis de resultados

### 2.2. MATERIALES EMPLEADOS

#### 2.2.1. Agregado mineral

- **Procedencia:**

El total del agregado utilizado proviene de la cantera ubicada junto al río Chicamocha, del sector conocido como Pescadero, departamento de Santander. El material fue facilitado por la empresa Paviandi.

- **Ensayos Realizados al Agregado:**

Se debe cumplir los requisitos de calidad del agregado mineral sugeridos en la norma INVIAS aplicable al diseño de mezclas MDC-2. El agregado de Pescadero ya tiene un estudio realizado en el laboratorio de Pavimentos de la Universidad Industrial de Santander y en los anexos se pueden apreciar los resultados.

**2.2.2. Asfalto.** Se utilizó asfalto 60-70 y 80-100 producido por la refinería de ECOPETROL de Barrancabermeja. Este asfalto fue facilitado por la empresa Tecno Pavimentos.

### 2.3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS

Se utilizaron tres tipos de mezcla MDC-2, dos de estos diseños fueron suministrados por las empresas Paviandi y Tecno Pavimentos las cuales producen este tipo de mezcla, el tercer diseño se sacó de la tesis de grado ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS MDC-2, MDC-3, M1 Y STONE MATRIX ASPHALT.

Los límites granulométricos exigidos por el INVIAS para este tipo de mezclas, están descritos en el artículo 450 – 07.

A continuación se puede apreciar los rangos granulométricos exigidos por la norma, las granulometrías de los tres diseños de mezclas utilizadas y el porcentaje de asfalto de cada mezcla.

**Tabla 2.1.** Rangos granulométricos MDC-2

TAMIZ	Porcentaje que pasa
3/4"	100
1/2"	80-100
3/8"	70-88
No.4	49-65
No.10	29-45
No.40	14-25
No.80	8-17
No.200	4-8

**Tabla 2.2.** Diseños de mezclas

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	Paviandi	Tecno Pavimentos	Proyecto
3/4"	100	100	100
1/2"	90	96.7	90
3/8"	79	77.2	79
No. 4	56	57.3	57
No. 10	39	40.1	37
No. 40	15	17.9	19.5
No. 80	9	11.1	12.5
No. 200	6	6	6

**Tabla 2.3.** Porcentajes de asfalto

Mezcla	% Asfalto
Paviandi	4.9
Tecno Pavimentos	4.9
Proyecto	4.8

**2.3.1 Metodología usada para la fabricación de probetas.** Las probetas fueron fabricadas según la metodología de la norma “Resistencia a la Compresión Simple de Mezclas Bituminosas” (INV E-747) con un peso total de mezcla de 2500 gramos aproximadamente. Este procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de altura igual a su diámetro y describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas compactadas en caliente, tanto de mezclas elaboradas en plantas asfálticas como de mezclas elaboradas en laboratorio.

Las probetas tienen 4” de diámetro y un promedio de altura de 5”.

- **Número de probetas fabricadas:**

Cada uno de los tres tipos de mezcla se hizo con asfalto 60-70 y 80-100. Se optó por hacer triplicados de probetas para tener una mayor precisión mediante el promedio de los datos.

En total fueron fabricadas 18 probetas las cuáles serán ensayadas a tres temperaturas y a tres velocidades de carga.

- **Temperatura de mezcla y compactación:**

Las probetas fueron fabricadas garantizando una temperatura de mezcla y compactación de 140 y 130 °C respectivamente, de acuerdo a las recomendaciones del productor del asfalto empleado.

- **Compactación de las Probetas:**

Las probetas fueron compactadas en la Máquina Universal

Se vertió la mitad de la mezcla en un molde de 4” de diámetro aplicando 25 golpes en con una espátula, luego vertió la otra mitad aplicando los mismos 25 golpes.

A continuación, se colocó el pistón superior y se aplicó sobre la mezcla una carga inicial o de asentamiento de 8 KN, con objeto de asentar inicialmente la mezcla; y se comenzó la compactación definitiva de la mezcla mediante la aplicación de una carga creciente, regulando la velocidad lo más uniformemente posible, hasta alcanzar, en un tiempo de 2 a 3 minutos, una carga máxima de 170KN, manteniendo esta carga sobre la mezcla durante 2 minutos.

**Figura 2.1.** Compactación de la probeta en la máquina universal



## **2.4. PRUEBAS EFECTUADAS SOBRE LAS MUESTRAS**

Los ensayos de medición del módulo de rigidez que serán descritos a continuación se desarrollaron sin seguir textualmente procesos estandarizados; estas pruebas fueron ideadas, para efecto de esta investigación, buscando comparar el comportamiento elástico ante diferentes condiciones de velocidad de carga y temperatura.

**2.4.1. Medición de Densidad Bulk, Gmm y Contenido de Vacíos.** Como la mezcla MDC-2 es de textura superficial densa e impermeable, la densidad de Bulk fue determinada en relación a su peso seco, sumergido y saturado en superficie seca.

Se halló la gravedad máxima medida (Gmm) y a partir de esta y la gravedad de Bulk se obtuvo el contenido de vacíos con aire ( $V_a$ ).

Se buscó trabajar un intervalo de porcentaje de vacíos entre 3% y 8% ya que estos son los más comunes a los materiales utilizados en la actualidad.

**2.4.2. Determinación del Módulo de Rigidez.** El módulo de rigidez se halló variando para cada probeta tres temperaturas a tres velocidades. Se utilizaron

temperaturas de 15, 25 y 35°C y las velocidades aplicadas fueron de 0.25, 0.60 y 2"/min.

Se aplicó una carga en la cual la probeta se comportara en el rango elástico; la carga máxima en la que se compactaron las probetas fueron aproximadamente el 30% de la carga máxima que resiste la mezcla de menos resistencia a una temperatura de 30°C y una velocidad de 0.25"/min.

Las probetas se sometieron a baño de maría durante 3 horas según la temperatura que se fuera a analizar. Para que la probeta mantuviera la temperatura durante el ensayo se introdujo dentro de un recipiente metálico en el cual se mantenía el agua a la temperatura solicitada.

Al momento de hallar el módulo de elasticidad el ensayo se realizó varias veces, hasta que la probeta recuperara su tamaño inicial después de su deformación.

Cuando se aplicaron las diferentes velocidades de carga, para poder tabular una mayor cantidad de datos con una mayor precisión, se grabaron los videos de las diferentes medidas y fueron analizados luego.

**Figura 2.2.** Medida del módulo de rigidez en la máquina Marshall



### 3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos y mediciones efectuadas sobre las probetas; además se describen los materiales con que fueron fabricadas y la composición de las mezclas.

#### 3.1. Caracterización de Probetas

**3.1.1. Nomenclatura.** Cada probeta está identificada por tipo de mezcla, tipo de asfalto y número de probeta.

El tipo de mezcla se representan mediante las siguientes iniciales:

- **Pro:** Proyecto
- **TP:** Tecno Pavimentos
- **P:** Paviandi

El tipo de Asfalto puede ser de 60-70 o 80-100.

El número de probeta 1, 2 o 3 que pertenece al número de triplicado de cada mezcla.

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

#### 3.2. Densidad de Bulk, Gravedad máxima medida y Porcentaje de vacíos

Los datos reportados a continuación para Densidad de Bulk se presentan como los promedios de cada medida con un  $n=3$ .

Para ver datos completos referirse a Anexos B.2

### 3.2.1. Densidad de Bulk (Gb)

Tabla 3.1. Densidad de Bulk

Mezcla		Gb prom
Paviandi	60-70	2.35
	80-100	2.35
Tecno Pavimentos	60-70	2.36
	80-100	2.36
Proyecto	60-70	2.35
	80-100	2.37

### 3.2.2. Gravedad máxima medida (Gmm)

Tabla 3.2. Gravedad máxima medida

Mezcla		Gmm
Paviandi	60-70	2.414
	80-100	2.441
Tecno Pavimentos	60-70	2.470
	80-100	2.505
Proyecto	60-70	2.470
	80-100	2.501

### 3.2.3. Porcentaje de Vacios

Tabla 3.3. Porcentaje de Vacios

Mezcla		% Vacios
Paviandi	60-70	2.49
	80-100	3.58
Tecno Pavimentos	60-70	4.43
	80-100	5.89
Proyecto	60-70	4.67
	80-100	5.36

Las mezclas fabricadas con asfalto 60-70 presentan menor porcentaje de vacios que las fabricadas con asfalto 80-100.

### 3.3. Módulo de Rigidez

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

Se observará el comportamiento de los módulos de rigidez estáticos con respecto a las velocidades de carga para cada temperatura.

Pese a que se aplicó a las probetas un esfuerzo máximo dentro del rango elástico no todas presentan una tendencia lineal; por esta razón se calcularon tres módulos de rigidez para mirar el comportamiento de una manera más real.

Las abreviaturas usadas para cada módulo fueron:

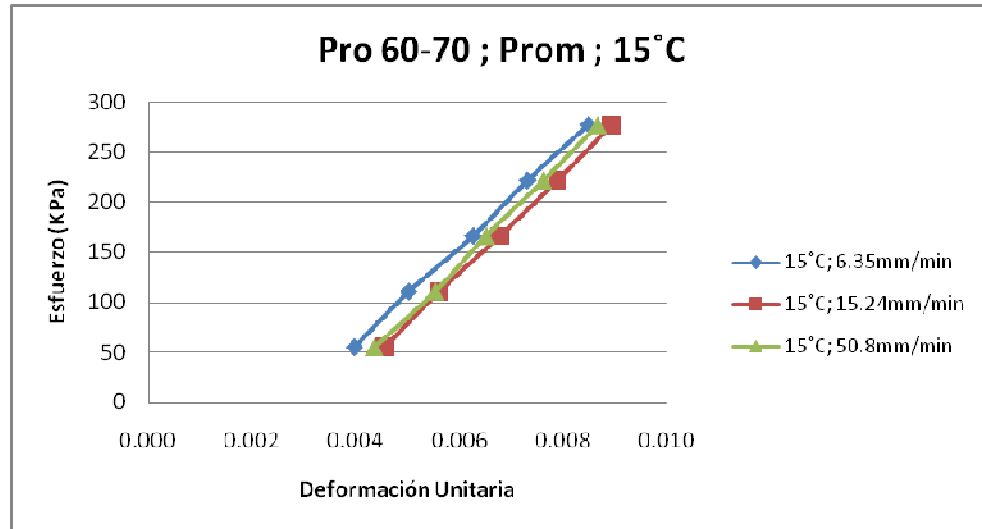
- **E**: el módulo de rigidez de toda la gráfica, en el intervalo de esfuerzos de 8.06 Psi a 40.29 Psi
- **E<sub>1</sub>**: el módulo de rigidez en el intervalo de esfuerzos de esfuerzos de 8.06 Psi a 24.17 Psi.
- **E<sub>2</sub>**: el módulo de rigidez en el intervalo de esfuerzos de esfuerzos de 24.17 Psi a 40.29 Psi.

Los cálculos de los módulos E, E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> se pueden apreciar en los anexos.

### 3.3.1. Pro 60-70.

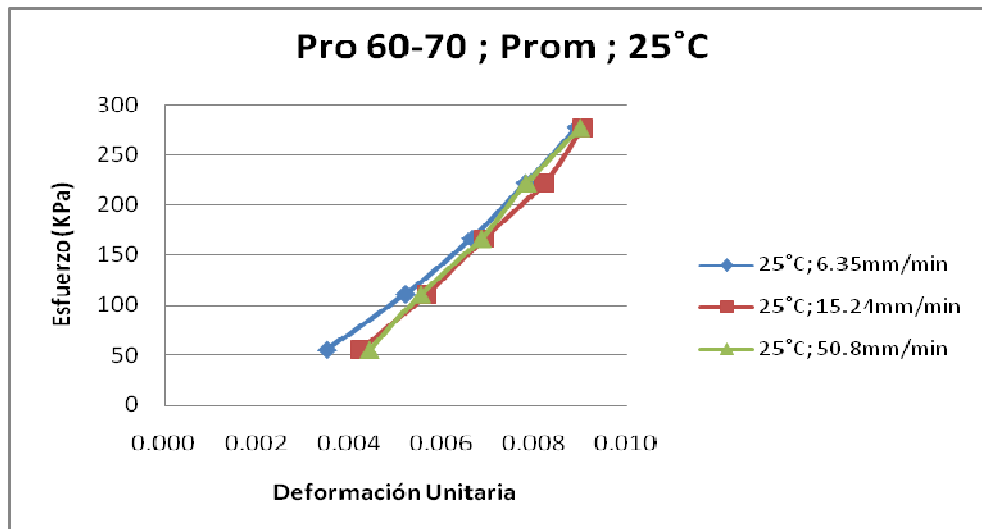
- Mezcla Pro 60-70 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.1. Pro 60-70 promedio, T=15°C



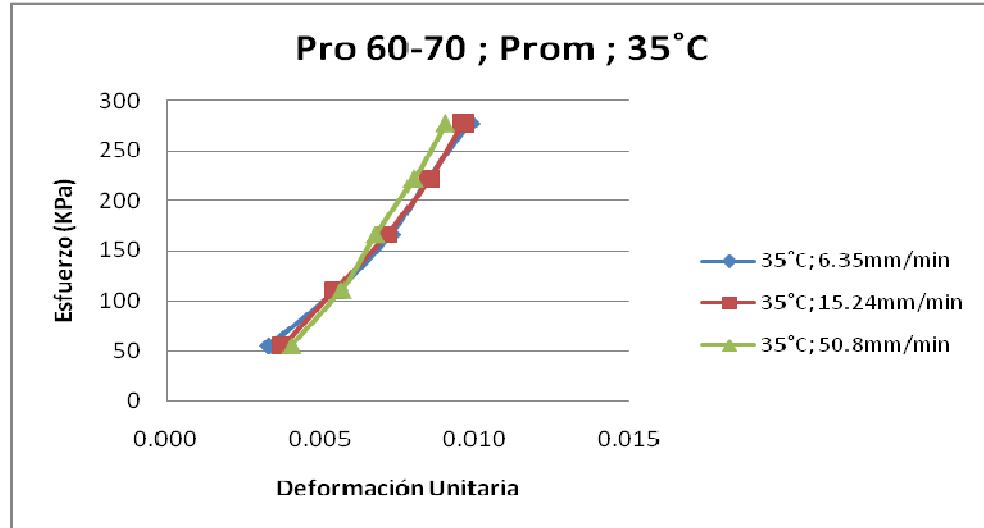
- Mezcla Pro 60-70 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.2. Pro 60-70 promedio, T=25°C



- Mezcla Pro 60-70 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

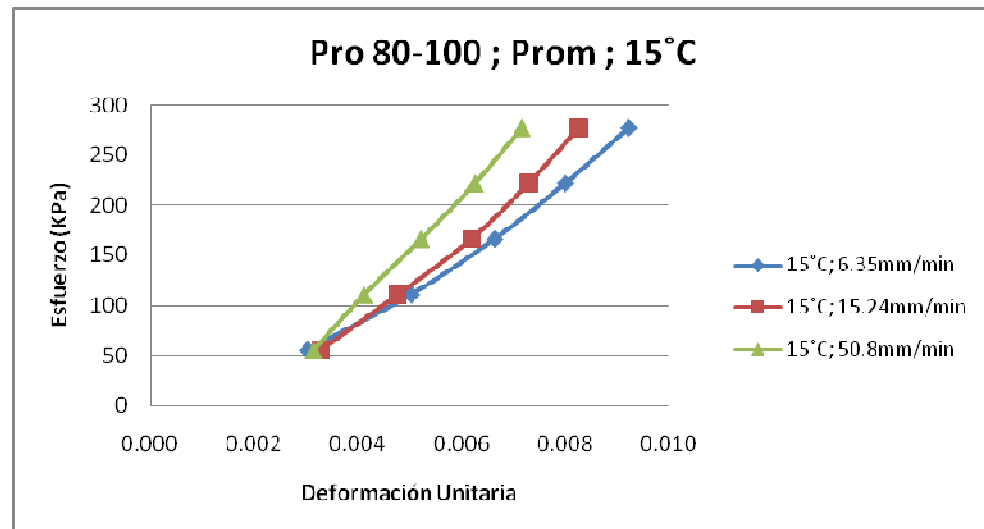
Figura 3.3. Pro 60-70 promedio, T=35°C



### 3.3.2. Pro 80-100.

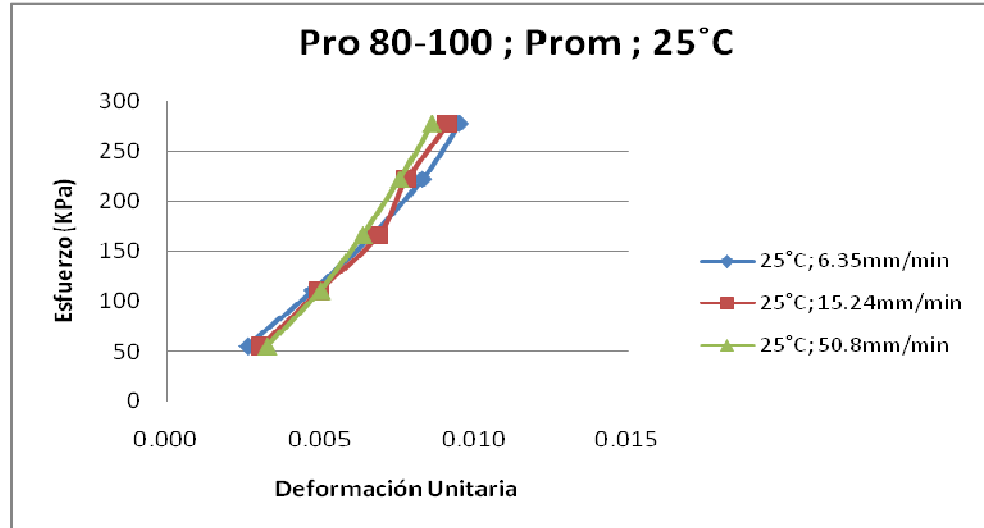
- Mezcla Pro 80-100 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.4. Pro 80-100 promedio, T=15°C



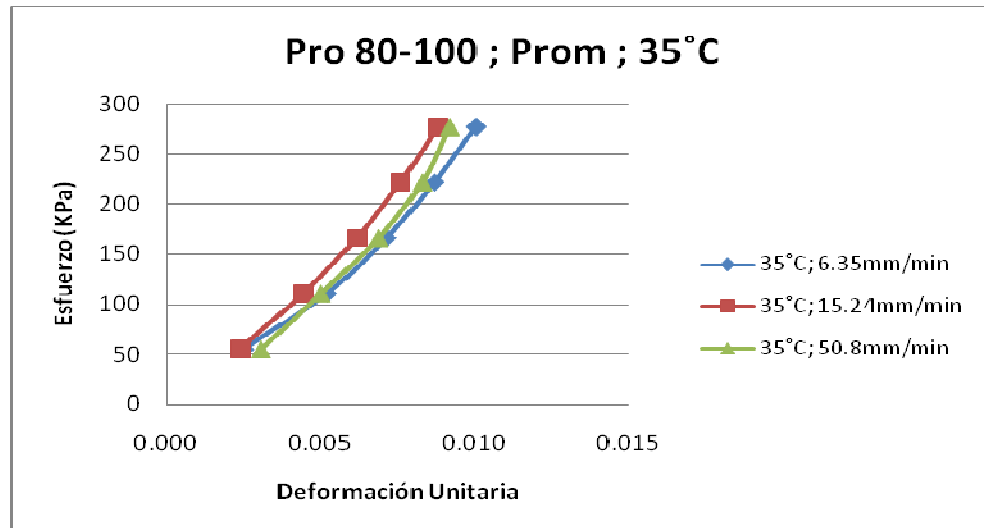
- Mezcla Pro 80-100 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.5. Pro 80-100 promedio, T=25°C



- Mezcla Pro 80-100 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

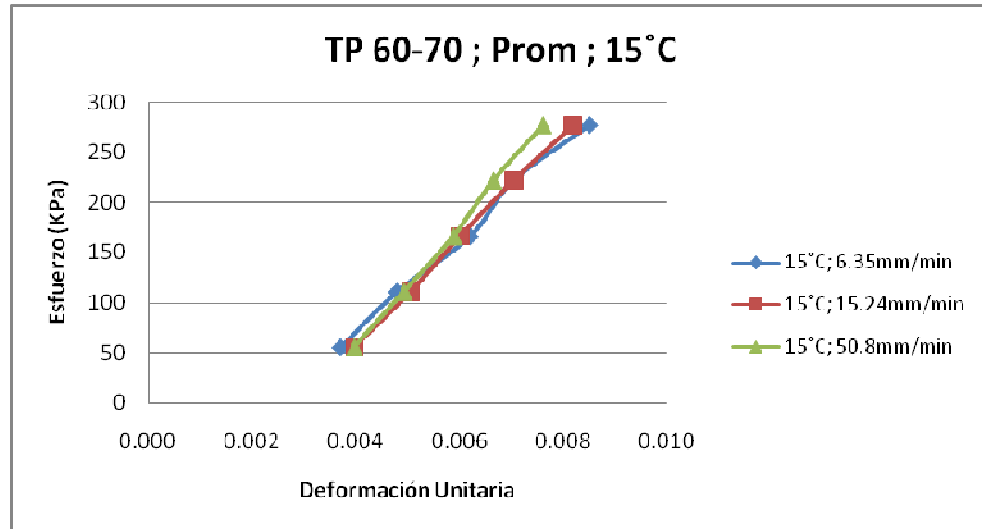
Figura 3.6. Pro 80-100 promedio, T=35°C



### 3.3.3. TP 60-70.

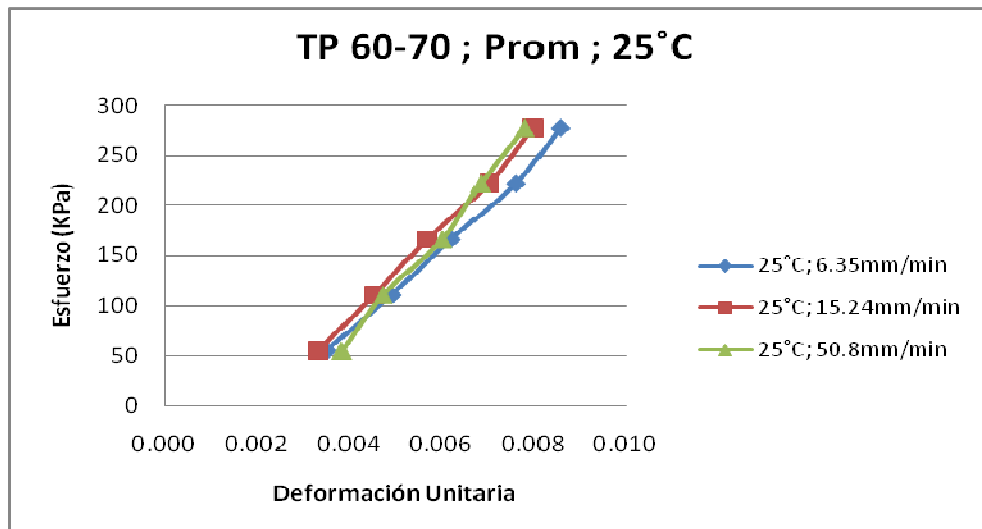
- Mezcla TP 60-70 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.7. TP 60-70 promedio, T=15°C



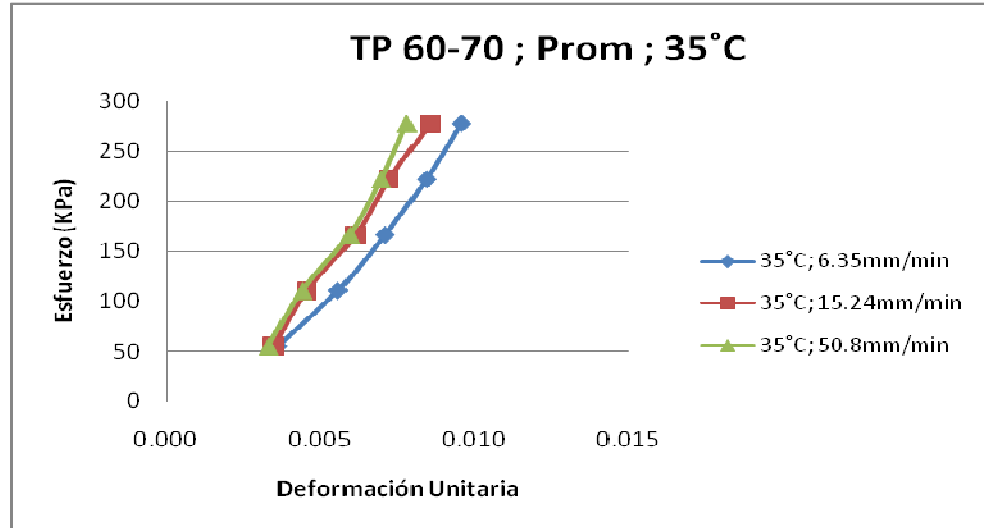
- Mezcla TP 60-70 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.8. TP 60-70 promedio, T=25°C



- Mezcla TP 60-70 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

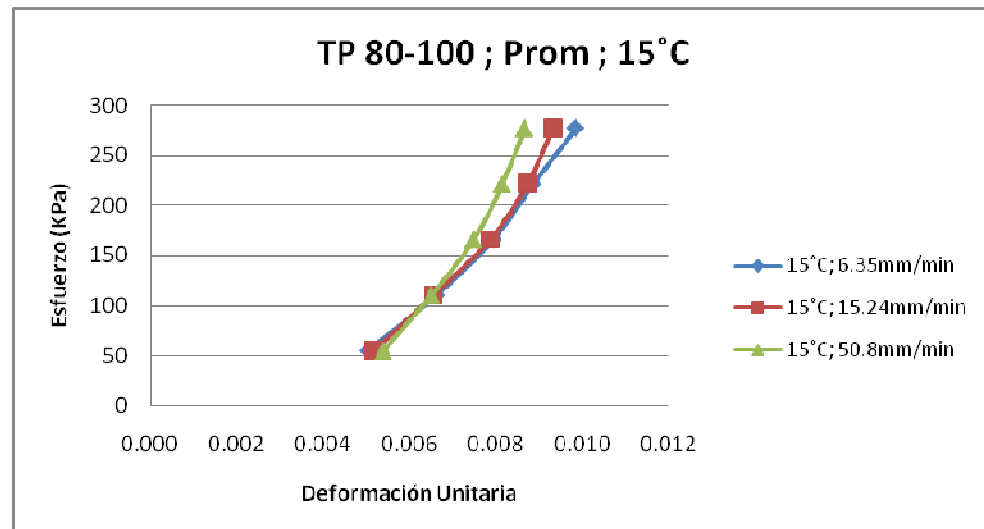
Figura 3.9. TP 60-70 promedio, T=35°C



### 3.3.4. TP 80-100.

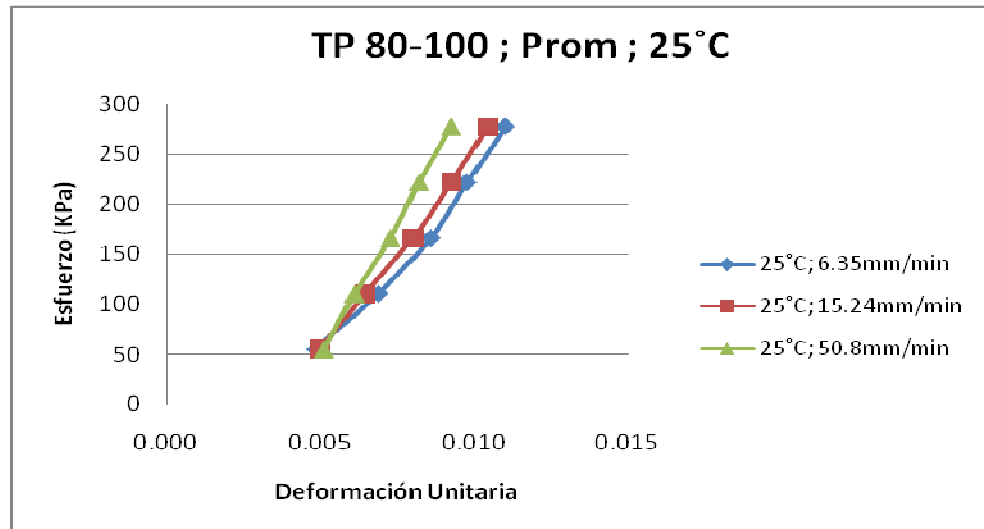
- Mezcla TP 80-100 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.10. TP 80-100 promedio, T=15°C



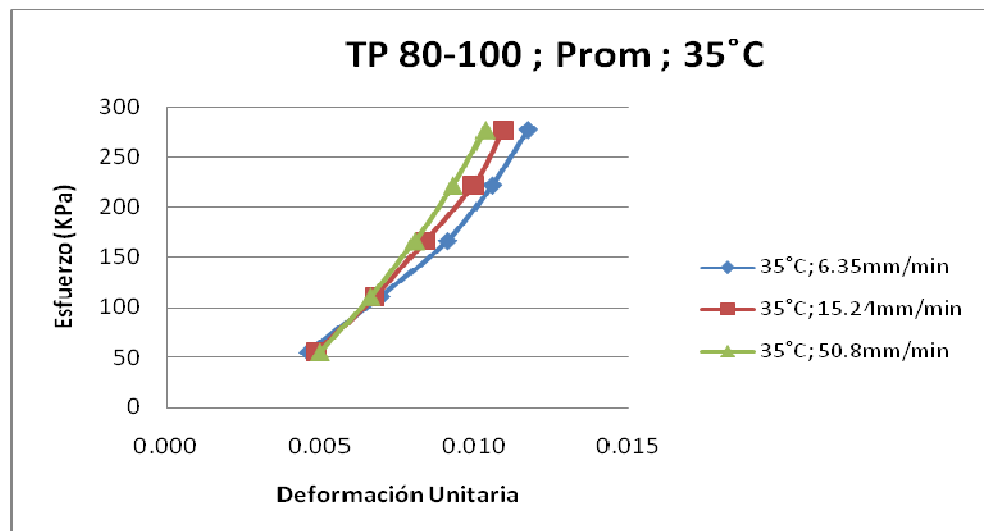
- Mezcla TP 80-100 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.11. TP 80-100 promedio, T=25°C



- Mezcla TP 80-100 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

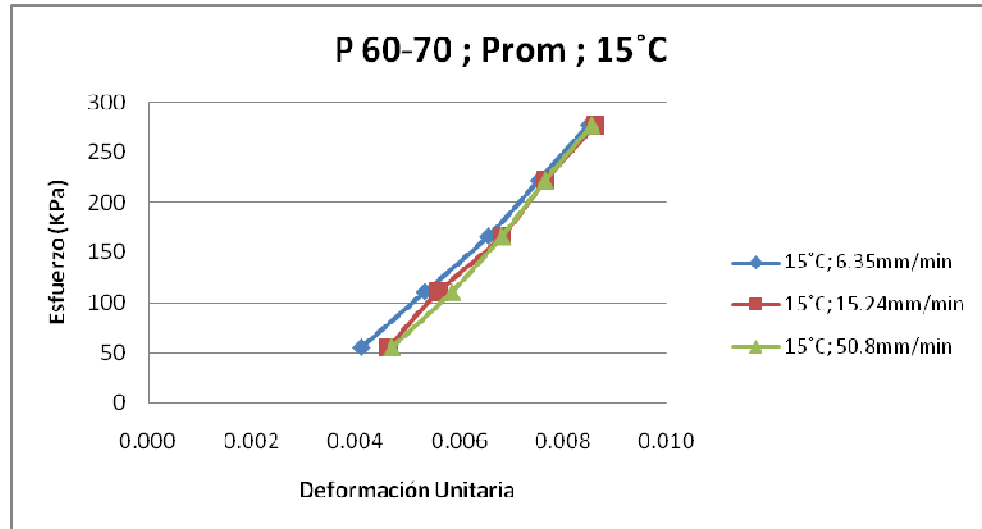
Figura 3.12. TP 80-100 promedio, T=35°C



### 3.3.5. P 60-70.

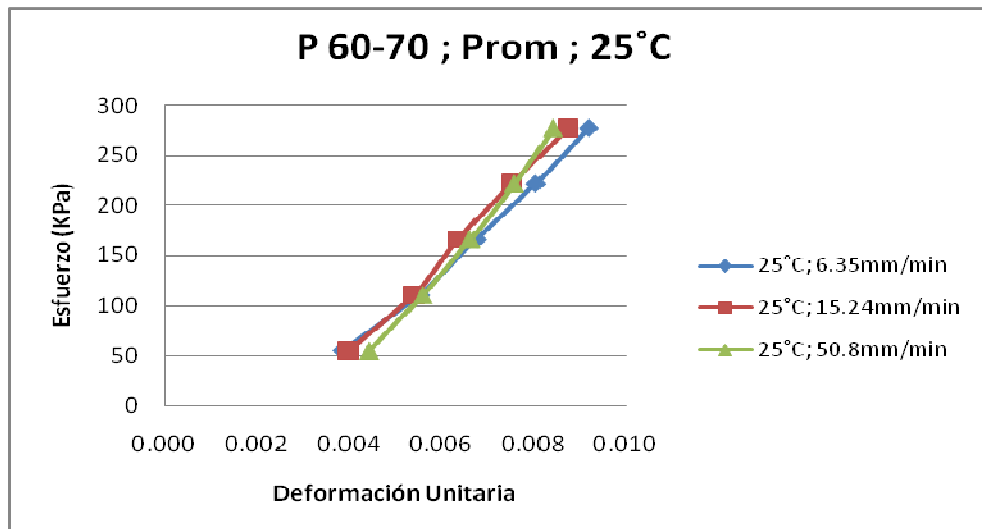
- Mezcla P 60-70 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.13. P 60-70 promedio, T=15°C



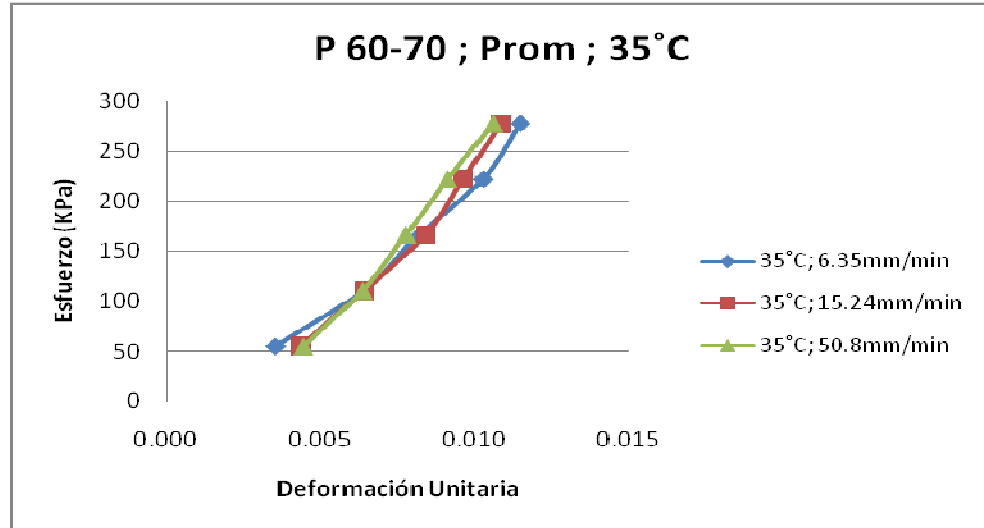
- Mezcla P 60-70 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.14. P 60-70 promedio, T=25°C



- Mezcla P 60-70 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

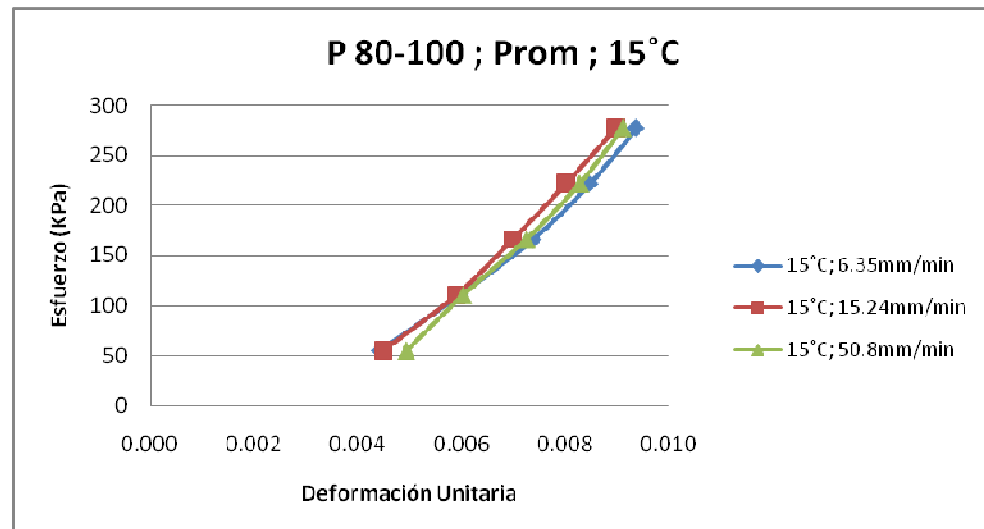
Figura 3.15. P 60-70 promedio, T=35°C



### 3.3.6. P 80-100.

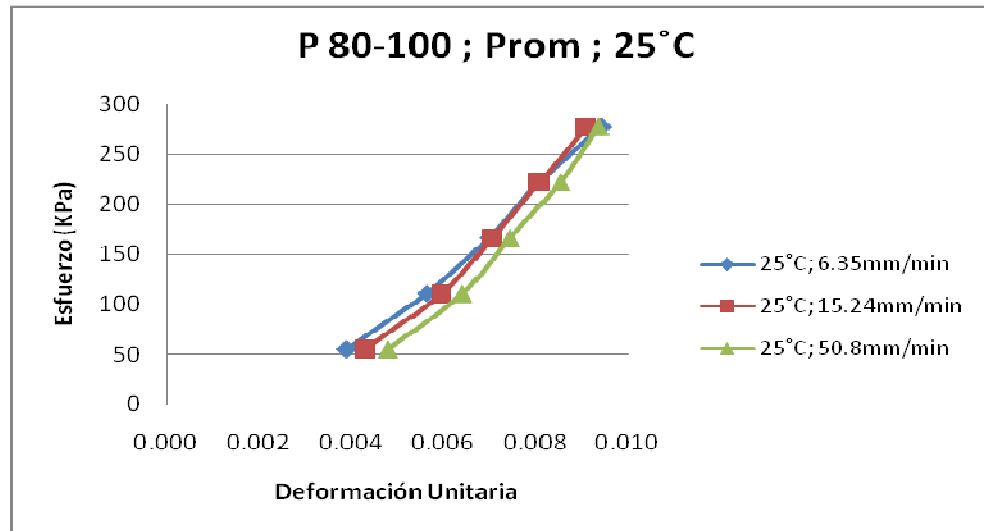
- Mezcla P 80-100 a temperatura de 15°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.16. P 80-100 promedio, T=15°C



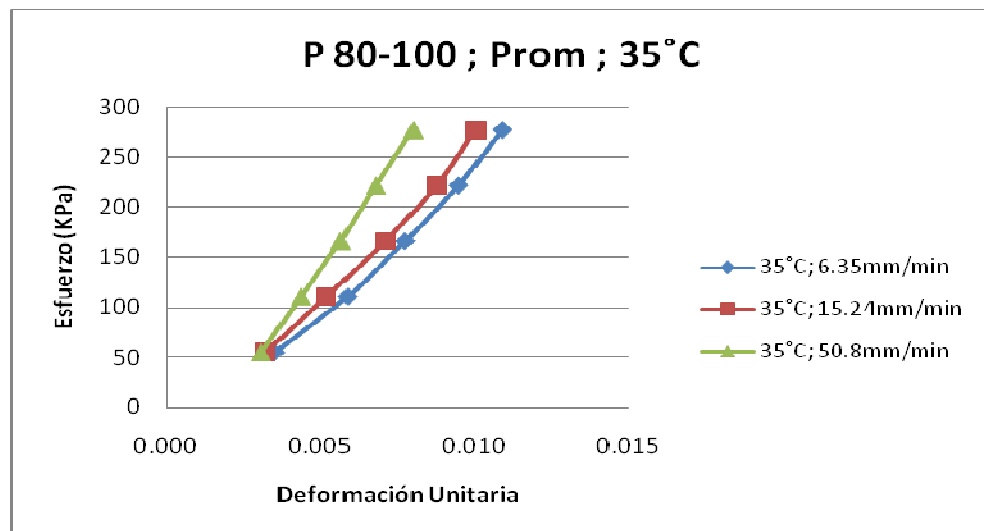
- Mezcla P 80-100 a temperatura de 25°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.17. P 80-100 promedio, T=25°C



- Mezcla P 80-100 a temperatura de 35°C y velocidades de carga de 6.35, 15.24 y 50.80mm/min

Figura 3.18. P 80-100 promedio, T=35°C



## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base a los diferentes ensayos practicados se puede establecer:

### 4.1. Variación del módulo elástico

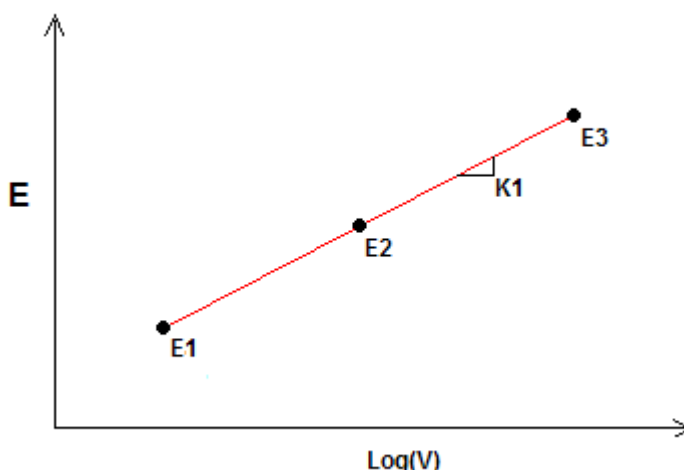
Alrededor del 93% de los ensayos efectuados a las mezclas bituminosas, tienen un resultado coherente en el que el módulo de rigidez disminuye a medida que se aumenta la temperatura y cerca del 90% de los ensayos efectuados a las probetas presentan un resultado en el que el módulo de rigidez aumenta a medida que se incrementa la velocidad de carga sobre la mezcla.

Según el comportamiento de los resultados, los módulos de rigidez más altos se presentan en el momento de aplicar la mayor velocidad de carga y la menor temperatura que se experimentó, 50.8mm/min y 15°C respectivamente.

Se hizo el análisis de un nuevo parámetro que expresa la sensibilidad de las mezclas a la variación de la velocidad de la carga y la temperatura,  $K_1$  y  $K_2$  respectivamente.

El coeficiente  $K_1$  fue hallado mediante la pendiente generada entre los módulos de rigidez hallados a una temperatura constante, ya sea de 15, 25 o 35°C, y aplicando tres velocidades de carga de 6.4, 15.2 y 50.8mm/min. La pendiente  $K_1$  fue hallada utilizando el módulo de rigidez en el eje vertical y el logaritmo de la velocidad en el eje horizontal; como se ilustra en la figura 4.1.

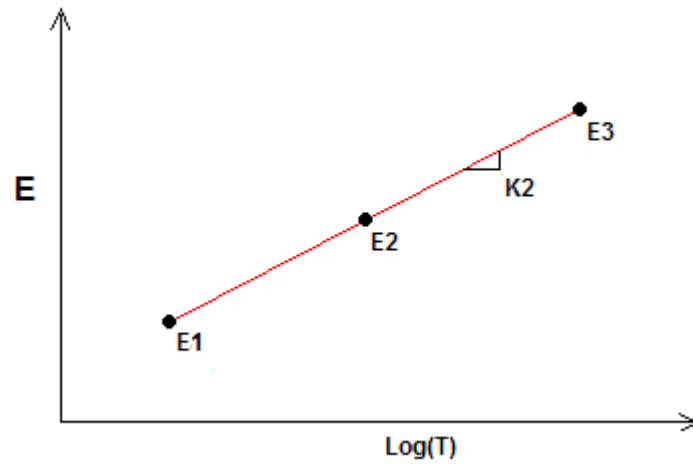
**Figura 4.1.** Coeficiente  $K_1$



El coeficiente  $K_2$  se calculó mediante la pendiente entre los módulos de rigidez determinados a una velocidad de carga constante de 6.4, 15.2 o 50.8mm/min

aplicando tres temperaturas de 15, 25 y 35°C. La pendiente  $K_2$  fue hallada utilizando el módulo de rigidez en el eje vertical y el logaritmo de la temperatura en el eje horizontal; como se ilustra en la figura 4.1.

**Figura 4.2.** Coeficiente  $K_2$



A continuación se muestran los valores de  $K_1$  y  $K_2$  hallados a las diferentes condiciones. Algunos valores presentan correlación menor a 0.6, el 11.11% de los valores de  $K_1$  y el 1.85% de  $K_2$ . Estos valores se presentan anormales y deberán ser verificados en la etapa siguiente del estudio.

**Tabla 4.1.** Coeficientes  $K_1$

Probeta	T °C	Pro 60-70		Pro 80-100		TP 60-70		TP 80-100		P 60-70		P 80-100	
		$K_1$	$r^2$	$K_1$	$r^2$	$K_1$	$r^2$	$K_1$	$r^2$	$K_1$	$r^2$	$K_1$	$r^2$
1	15	5295.13	1.00	19911.42	1.00	16890.69	0.94	27283.36	0.97	8478.53	0.81	11685.58	0.89
	25	7409.53	0.93	8822.50	0.99	9052.39	1.00	24417.57	0.98	12226.91	0.99	8151.68	0.81
	35	13340.39	0.99	5857.19	0.87	14821.98	0.99	14341.25	0.99	9926.90	0.90	16682.91	0.96
2	15	2563.94	0.41	22764.41	1.00	18626.85	0.98	28966.29	0.95	9368.77	0.75	12569.43	1.00
	25	3984.98	0.15	9197.65	0.95	12237.29	0.85	13767.22	0.97	14190.43	0.97	9008.08	0.82
	35	10850.10	0.98	5635.79	0.77	12670.40	0.99	15959.02	0.99	12472.64	0.99	15218.89	0.92
3	15	1390.77	0.16	20219.95	1.00	13745.70	0.86	11136.49	1.00	6588.93	0.76	2088.43	0.20
	25	14173.84	0.94	13305.79	1.00	17982.80	1.00	20474.13	0.94	17499.49	0.99	7942.63	0.96
	35	10548.81	0.96	6653.25	0.70	8114.10	0.52	5267.79	0.39	7116.99	0.72	19519.76	0.82

**Tabla 4.2.** Coeficiente  $K_2$

Probeta	V (mm/min)	Pro 60-70		Pro 80-100		TP 60-70		TP 80-100		P 60-70		P 80-100	
		$K_2$	$r^2$	$K_2$	$r^2$	$K_2$	$r^2$	$K_2$	$r^2$	$K_2$	$r^2$	$K_2$	$r^2$
1	6.4	-43297.39	0.98	-18673.55	1.00	-28815.43	0.81	-42226.17	0.99	-57814.44	0.89	-36832.47	0.76
	15.2	-38112.54	1.00	-29010.86	0.96	-23847.18	0.77	-47707.98	1.00	-58489.55	0.91	-47834.49	0.80
	50.8	-24735.71	1.00	-53578.72	0.97	-35277.55	0.99	-71629.34	0.98	-53562.79	0.79	-28267.26	0.98
2	6.4	-43836.79	0.99	-17235.70	1.00	-19740.19	0.69	-45636.92	0.99	-58619.83	0.92	-38321.78	0.85
	15.2	-29153.90	0.66	-31081.34	0.98	-24932.20	0.99	-49589.45	1.00	-66580.10	0.99	-42852.90	0.69
	50.8	-24025.19	0.80	-59917.77	0.98	-35152.19	0.98	-78949.84	0.96	-51181.34	0.82	-34187.20	0.99
3	6.4	-34045.49	0.97	-17543.51	1.00	-28975.62	0.98	-44681.44	0.98	-64919.95	0.97	-35691.30	0.90
	15.2	-36244.24	0.98	-23495.93	0.91	-30932.17	0.83	-36710.20	0.87	-44519.23	0.76	-46327.07	0.84
	50.8	-10427.19	0.14	-49629.72	1.00	-39983.16	0.87	-53585.63	0.79	-58269.08	0.67	2742.34	0.99

Aproximadamente el 81% de los ensayos efectuados a las diferentes mezclas presentan un resultado en el que las probetas fabricadas con asfalto 60-70 tienen mayor resistencia con respecto a las elaboradas con asfalto 80-100. Esto se debe a que el asfalto 60-70 tiene mayor consistencia, presentándose deformaciones más pequeñas a la aplicación de carga.

Al momento de analizar la variación del módulo de elasticidad con respecto a los vacíos de aire que presentan las diferentes probetas, se aprecia que aproximadamente el 50% de los módulos medidos no cumplen con lo esperado, en donde el módulo debería aumentar a menor contenido de vacíos.

## 5. RECOMENDACIONES

En el transcurso del desarrollo de este proyecto se pudieron establecer las siguientes recomendaciones para proyectos futuros:

- Para la continuación del proyecto se puede ejercer la velocidad máxima que se aplicó en esta primera fase de la investigación, a temperaturas más bajas de 10°C, y de esta manera encontrar una rigidez más cercana al módulo de rigidez dinámico.
- En los modelos que se propongan para encontrar la rigidez dinámica se debería emplear el módulo de rigidez mas alto medio en carga montónica y los parámetros K1 y K1 de sensibilidad a la velocidad de la carga y la velocidad del ensayo.
- Evaluar el comportamiento del módulo rigidez mediante otros tipos de mezclas como MDC-1, MDC-3, SMA, M1.
- Analizar el comportamiento del módulo de rigidez con respecto al porcentaje de vacíos de aire, implementando mezclas con diferente energía de compactación.
- Estudiar el comportamiento del módulo de rigidez mediante la fabricación de probetas con asfalto modificado con polímeros u otros elementos.
- Como algunas medidas no dieron coherentes se recomienda utilizar deformímetros digitales y de mayor precisión para disminuir el error de medición.

## 6. CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con una primera etapa de un estudio que pretende predecir el módulo de rigidez de mezclas asfálticas sometidas a cargas dinámicas en función de módulos bajo cargas monotónicas. Esta primera etapa comprendió la medida de los módulos de diferentes probetas bajo cargas monotónicas.
- Alrededor del 90% de los ensayos efectuados a las mezclas bituminosas, tienen un resultado coherente en el que el módulo de rigidez disminuye a medida que se aumenta la temperatura o a medida que se reduce la velocidad de carga.
- La relación entre el módulo de rigidez estático con respecto a los vacíos de aire, en el que a mayor contenido de vacíos menos rigidez, no se presentó como se esperaba, debido a que se trabajaron porcentajes de asfalto pequeños.
- Cuando se compactan mezclas bituminosas para hallar el módulo de rigidez estático, durante las primeras cargas de aplicación, la probeta no se comporta de una manera elástica porque no recupera su deformación inicial, a medida que se le aplican más cargas la mezcla presenta un estado en el que recupera su tamaño inicial, comportándose de una manera quasi-elástica.
- Las probetas analizadas presentan en algunos casos variación de los módulos de rigidez estáticos no coherentes, quizá las cargas aplicadas en algunas mediciones alteran la estructura o arreglo de partículas.

## BIBLIOGRAFÍA

ARENAS ROMERO, Emilio. SERRANO CORZO, Andrés Julián. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS MDC-2, MDC-3, M1 Y STONE MATRIX ASPHALT. Proyecto de grado. UIS 2006.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Silvia Viviana. VELANDIA ARGUELLO, Siul Enith. ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE LA FATIGA DE MATERIALES BITUMINOSOS. Proyecto de grado. UIS 2006.

GARNICA ANGUAS, Paul. MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS. Secretaría De Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte. Publicación técnica No 197. Sanfadila, Qro 2002.

NARANJO VESGA, Jesús Alberto, PINILLA MEDINA, Ricardo. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS ASFÁLTICAS CON MUESTRAS SEMICILÍNDRICAS. Proyecto de grado. UIS 2001.

ACOSTA SANCHEZ, Freiner José, MACIAS VALENCIA, Juan Pablo. ESTUDIO SOBRE MATERIALES GRANULARES EN LA CANTERA DEL RIO DE ORO UTILIZADOS COMO BASE GRANULARES PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES. Proyecto de grado. UIS 2006.

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

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

## **ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

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

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

FECHA : \_\_\_\_\_  
 PROYECTO : \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION : \_\_\_\_\_  
 MUESTRA : \_\_\_\_\_

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

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr : \_\_\_\_\_  
 PESO DESPUES DE LAVADO gr : \_\_\_\_\_  
 PORCENTAJE DE ERROR %: \_\_\_\_\_

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8				10	2	915	9,472	28,934
1 1/2"	36,1				20	0,84			
1"	25,4	1500	15,528	84,472	40	0,42	2090	21,636	7,298
3/4"	19,05	1135	11,749	72,723	60	0,25			
1/2"	12,7				100	0,149			
3/8"	9,52	2255	23,344	49,379	200	0,074	680	7,039	0,259
No 4	4,75	1060	10,973	38,406	PASA 200	****	25	0,259	0,000
SUMA	****	5960	61,594	38,406	SUMA	****	3710	38,406	
					TOTAL		9660	100,000	

D10= \_\_\_\_\_ CU=(D60 / D10) = \_\_\_\_\_ GRAVAS \_\_\_\_\_ %  
 D30= \_\_\_\_\_ CC=(D30)<sup>2</sup>/D10\*D60 = \_\_\_\_\_ ARENAS \_\_\_\_\_ %  
 D60= \_\_\_\_\_ FINOS \_\_\_\_\_ %

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



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

FECHA :  
 PROYECTO :  
 LOCALIZACION :  
 MUESTRA :

TAMAÑO	A	B	C	D	E
	PESO MUESTRA gr	PESO CARAS FRACTURADAS (gr)	% CARAS FRACTURADAS	GRANULOMETRIA GRADACION Orig.	C X D
1 1/2" - 1"	2000	1555	77,75	15,52795031	1207,29814
1" - 3/4"	1500	1070	71,33333333	11,7494824	838,129745
3/4" - 1/2"	1200	820	68,33333333	14,00621118	957,091097
1/2" - 3/8"	300	175	58,33333333	9,33747412	544,68599
SUMA		3620	70,75	50,62111801	3547,20497

% Caras Fracturadas = 70,07361963

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

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

**ENSAYO DE SANIDAD DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCION DE LAS SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO  
 SEGÚN NORMA INVIAS E-220**

FECHA \_\_\_\_\_  
 PROYECTO \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION \_\_\_\_\_  
 DESCRIPCION \_\_\_\_\_

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO
SUMA		

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

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

EXAMEN CUALITATIVO	#	%
PARTICULAS ANTES DEL ENSAYO	75	100
PARTICULAS DESPUES DEL ENSAYO	75	100
PARTICULAS DESCASCARADAS	7	9,33
PARTICULAS DESINTEGRADAS	0	0
PARTICULAS AGRIETADAS	0	0
PARTICULAS PARTIDAS	0	0
PARTICULAS LAJADAS	0	0
PARTICULAS RESQUEBRAJADAS	0	0

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

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



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
EQUIVALENTE DE ARENA**

FECHA: \_\_\_\_\_  
 PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: CHICAMOCHA \_\_\_\_\_  
 ENSAYO No: \_\_\_\_\_

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

Promedio	Promedio Redondeado
75	75

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



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

**AGREGADO GRUESO**

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

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



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

**AGREGADO GRUESO**

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

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



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

**ENSAYO DE INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO SEGUN NORMA INVIAS 230**

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Proyecto: \_\_\_\_\_  
 Localizacion: \_\_\_\_\_  
 Descripcion: \_\_\_\_\_

**INDICE DE ALARGAMIENTO**

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

**INDICE DE APLANAMIENTO**

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

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

observaciones = \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

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



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ABRASION DE AGREGADOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES**

FECHA: \_\_\_\_\_  
 PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION: \_\_\_\_\_  
 ENSAYO No: \_\_\_\_\_

**DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES**

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

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

OBSERVACIONES

VoBo

## **ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS**

**Anexo B.1:** Geometría de las probetas fabricadas en el laboratorio

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

Probeta			Geometría	
			Altura (cm)	Diámetro(cm)
Paviandi	60-70	1	13.3	10.1
		2	13.2	10.1
		3	13.2	10.1
	80-100	1	12.8	10.1
		2	12.7	10.1
		3	13.2	10.1
Tecno Pav	60-70	1	13.3	10.1
		2	13.1	10.1
		3	13.1	10.1
	80-100	1	13.3	10.1
		2	13.0	10.1
		3	13.3	10.1
Proyecto	60-70	1	13.1	10.1
		2	13.0	10.1
		3	13.1	10.1
	80-100	1	13.1	10.1
		2	13.3	10.1
		3	13.0	10.1

*Anexo B.2: Peso específico Teórico Máximo de mezclas asfálticas (INV E-735)*

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

Gmm= Peso específico máximo de una mezcla asfáltica

A= Peso de la muestra en el aire (gr)

D= Peso del picnómetro + agua a 25°C

E= Peso de la muestra sin vacíos + Picnómetro + agua

Mezcla		Gravedad Máxima Medida			
		A (gr)	D (gr)	E (gr)	Gmm
Paviandi	60-70	805.3	1972.4	2444.1	2.414
	80-100	1001.1	1971.5	2562.5	2.441
Tecno Pavimentos	60-70	806.8	1976.3	2456.5	2.470
	80-100	1005.8	1961.4	2565.7	2.505
Proyecto	60-70	816.5	1981.4	2467.3	2.470
	80-100	1006	1926.8	2530.6	2.501

**Anexo B.3: Peso específico aparente de mezclas asfálticas (INV E-733)**

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

Probeta			Peso Específico Aparente				
			Wseca (gr)	Wsat (gr)	Wsumer (gr)	Gb	Gb prom
Paviandi	60-70	1	2508.2	2514.6	1450.8	2.36	2.35
		2	2506.0	2513.4	1449.4	2.36	
		3	2477.0	2483.8	1429.1	2.35	
	80-100	1	2418.6	2425.7	1392.4	2.34	2.35
		2	2431.2	2437.5	1403.4	2.35	
		3	2505.3	2514.6	1457.3	2.37	
Tecno Pav	60-70	1	2498.6	2507.9	1450.5	2.36	2.36
		2	2526.6	2534.4	1461.8	2.36	
		3	2497.7	2503.5	1447.0	2.36	
	80-100	1	2505.5	2512.8	1450.3	2.36	2.36
		2	2468.1	2477.2	1430.0	2.36	
		3	2521.5	2529.9	1460.4	2.36	
Proyecto	60-70	1	2512.4	2521.7	1458.0	2.36	2.35
		2	2466.4	2483.1	1429.4	2.34	
		3	2499.5	2510.1	1451.1	2.36	
	80-100	1	2498.3	2507.3	1449.0	2.36	2.37
		2	2508.3	2516.7	1457.8	2.37	
		3	2489.7	2497	1447.4	2.37	

## **ANEXO C: ENSAYOS MÓDULO DE ELASTICIDAD**

Anexo C.1: Ensayo de Módulo elástico Pro 60-70

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

Pro 60-70								
Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)					
			55.51	111.03	166.54	222.06	277.57	
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0039	0.0051	0.0063	0.0072	0.0084
			<b>15.2</b>	0.0045	0.0057	0.0068	0.0078	0.0088
			<b>50.8</b>	0.0045	0.0057	0.0066	0.0076	0.0086
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0037	0.0053	0.0066	0.0078	0.0090
			<b>15.2</b>	0.0041	0.0057	0.0070	0.0082	0.0092
			<b>50.8</b>	0.0045	0.0057	0.0070	0.0080	0.0090
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0033	0.0057	0.0074	0.0086	0.0100
			<b>15.2</b>	0.0037	0.0055	0.0072	0.0084	0.0096
			<b>50.8</b>	0.0041	0.0057	0.0068	0.0080	0.0090
	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0041	0.0049	0.0063	0.0072	0.0084
			<b>15.2</b>	0.0045	0.0057	0.0068	0.0080	0.0090
			<b>50.8</b>	0.0043	0.0055	0.0065	0.0074	0.0086
<b>25</b>		<b>6.4</b>	0.0033	0.0051	0.0065	0.0078	0.0090	
		<b>15.2</b>	0.0045	0.0059	0.0068	0.0082	0.0090	
		<b>50.8</b>	0.0041	0.0053	0.0065	0.0078	0.0092	
<b>35</b>		<b>6.4</b>	0.0033	0.0055	0.0072	0.0084	0.0098	
		<b>15.2</b>	0.0039	0.0055	0.0070	0.0086	0.0098	
		<b>50.8</b>	0.0039	0.0055	0.0066	0.0078	0.0090	
<b>3</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0039	0.0051	0.0063	0.0074	0.0086	
		<b>15.2</b>	0.0047	0.0055	0.0066	0.0078	0.0090	
		<b>50.8</b>	0.0043	0.0055	0.0065	0.0078	0.0088	
	<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0053	0.0068	0.0078	0.0088	
		<b>15.2</b>	0.0041	0.0055	0.0068	0.0082	0.0090	
		<b>50.8</b>	0.0047	0.0057	0.0070	0.0076	0.0088	
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0033	0.0055	0.0072	0.0084	0.0098	
		<b>15.2</b>	0.0037	0.0055	0.0072	0.0086	0.0096	
		<b>50.8</b>	0.0041	0.0059	0.0068	0.0082	0.0092	

Anexo C.2: Ensayo de Módulo elástico Pro 80-100

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

		Pro 80-100						
Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)					
			55.51	111.03	166.54	222.06	277.57	
1	15	6.4	0.0031	0.0050	0.0066	0.0079	0.0093	
		15.2	0.0033	0.0048	0.0062	0.0073	0.0083	
		50.8	0.0031	0.0041	0.0052	0.0062	0.0072	
	25	6.4	0.0027	0.0048	0.0068	0.0083	0.0097	
		15.2	0.0031	0.0050	0.0070	0.0079	0.0093	
		50.8	0.0033	0.0050	0.0064	0.0077	0.0089	
	35	6.4	0.0025	0.0052	0.0072	0.0087	0.0101	
		15.2	0.0023	0.0044	0.0062	0.0077	0.0089	
		50.8	0.0031	0.0050	0.0070	0.0083	0.0093	
	2	15	6.4	0.0029	0.0048	0.0066	0.0079	0.0091
			15.2	0.0033	0.0046	0.0062	0.0072	0.0081
			50.8	0.0033	0.0043	0.0052	0.0064	0.0072
25		6.4	0.0025	0.0046	0.0066	0.0083	0.0093	
		15.2	0.0031	0.0048	0.0068	0.0079	0.0089	
		50.8	0.0035	0.0050	0.0066	0.0075	0.0091	
35		6.4	0.0023	0.0050	0.0072	0.0085	0.0099	
		15.2	0.0025	0.0046	0.0064	0.0077	0.0091	
		50.8	0.0029	0.0050	0.0068	0.0081	0.0093	
3	15	6.4	0.0031	0.0052	0.0068	0.0081	0.0093	
		15.2	0.0033	0.0048	0.0062	0.0073	0.0083	
		50.8	0.0031	0.0041	0.0052	0.0062	0.0072	
	25	6.4	0.0027	0.0048	0.0068	0.0083	0.0097	
		15.2	0.0031	0.0050	0.0070	0.0075	0.0093	
		50.8	0.0031	0.0050	0.0062	0.0075	0.0079	
	35	6.4	0.0027	0.0054	0.0072	0.0089	0.0102	
		15.2	0.0023	0.0043	0.0060	0.0073	0.0085	
		50.8	0.0033	0.0050	0.0070	0.0085	0.0091	

Anexo C.3: Ensayo de Módulo elástico TP 60-70

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

TP 60-70								
Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)					
			55.51	111.03	166.54	222.06	277.57	
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0036	0.0048	0.0061	0.0071	0.0084
			<b>15.2</b>	0.0038	0.0050	0.0060	0.0069	0.0084
			<b>50.8</b>	0.0040	0.0050	0.0060	0.0067	0.0077
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0050	0.0061	0.0075	0.0084
			<b>15.2</b>	0.0033	0.0046	0.0056	0.0069	0.0079
			<b>50.8</b>	0.0036	0.0048	0.0060	0.0069	0.0079
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0056	0.0071	0.0084	0.0098
			<b>15.2</b>	0.0033	0.0046	0.0061	0.0073	0.0088
			<b>50.8</b>	0.0035	0.0046	0.0060	0.0071	0.0079
	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0046	0.0061	0.0069	0.0084
			<b>15.2</b>	0.0040	0.0052	0.0061	0.0069	0.0086
			<b>50.8</b>	0.0038	0.0048	0.0058	0.0065	0.0075
<b>25</b>		<b>6.4</b>	0.0036	0.0050	0.0063	0.0075	0.0086	
		<b>15.2</b>	0.0033	0.0046	0.0058	0.0073	0.0081	
		<b>50.8</b>	0.0038	0.0048	0.0061	0.0067	0.0079	
<b>35</b>		<b>6.4</b>	0.0036	0.0056	0.0073	0.0084	0.0096	
		<b>15.2</b>	0.0035	0.0048	0.0061	0.0073	0.0090	
		<b>50.8</b>	0.0033	0.0044	0.0060	0.0069	0.0077	
<b>3</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0040	0.0050	0.0063	0.0071	0.0086	
		<b>15.2</b>	0.0040	0.0050	0.0060	0.0073	0.0075	
		<b>50.8</b>	0.0040	0.0050	0.0060	0.0067	0.0077	
	<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0048	0.0061	0.0079	0.0086	
		<b>15.2</b>	0.0035	0.0044	0.0058	0.0069	0.0081	
		<b>50.8</b>	0.0040	0.0046	0.0060	0.0069	0.0077	
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0036	0.0056	0.0069	0.0084	0.0094	
		<b>15.2</b>	0.0036	0.0042	0.0061	0.0071	0.0079	
		<b>50.8</b>	0.0033	0.0042	0.0060	0.0069	0.0079	

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

TP 80-100							
Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
			55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>1</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0049	0.0067	0.0081	0.0089	0.0098
		<b>15.2</b>	0.0051	0.0065	0.0079	0.0087	0.0093
		<b>50.8</b>	0.0055	0.0065	0.0075	0.0081	0.0087
	<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0047	0.0069	0.0085	0.0098	0.0112
		<b>15.2</b>	0.0049	0.0065	0.0079	0.0091	0.0104
		<b>50.8</b>	0.0051	0.0061	0.0073	0.0081	0.0091
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0045	0.0071	0.0093	0.0104	0.0120
		<b>15.2</b>	0.0047	0.0069	0.0085	0.0100	0.0112
		<b>50.8</b>	0.0049	0.0067	0.0081	0.0093	0.0100
<b>2</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0051	0.0067	0.0079	0.0091	0.0098
		<b>15.2</b>	0.0053	0.0067	0.0079	0.0089	0.0095
		<b>50.8</b>	0.0055	0.0063	0.0075	0.0079	0.0085
	<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0051	0.0067	0.0085	0.0096	0.0110
		<b>15.2</b>	0.0049	0.0063	0.0077	0.0093	0.0102
		<b>50.8</b>	0.0051	0.0057	0.0071	0.0081	0.0095
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0047	0.0069	0.0095	0.0104	0.0122
		<b>15.2</b>	0.0049	0.0067	0.0083	0.0100	0.0114
		<b>50.8</b>	0.0051	0.0069	0.0081	0.0095	0.0100
<b>3</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0051	0.0065	0.0079	0.0087	0.0098
		<b>15.2</b>	0.0051	0.0065	0.0079	0.0087	0.0093
		<b>50.8</b>	0.0051	0.0067	0.0075	0.0085	0.0089
	<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0047	0.0071	0.0089	0.0098	0.0108
		<b>15.2</b>	0.0051	0.0065	0.0085	0.0095	0.0106
		<b>50.8</b>	0.0051	0.0065	0.0075	0.0085	0.0093
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0045	0.0069	0.0087	0.0108	0.0110
		<b>15.2</b>	0.0049	0.0067	0.0085	0.0098	0.0102
		<b>50.8</b>	0.0049	0.0063	0.0081	0.0093	0.0110

Anexo C.5: Ensayo de Módulo elástico P 60-70

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

P 60-70								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0042	0.0054	0.0066	0.0077	0.0087
			<b>15.2</b>	0.0046	0.0056	0.0068	0.0077	0.0085
			<b>50.8</b>	0.0048	0.0058	0.0068	0.0077	0.0087
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0039	0.0054	0.0068	0.0079	0.0091
			<b>15.2</b>	0.0041	0.0054	0.0066	0.0075	0.0087
			<b>50.8</b>	0.0044	0.0054	0.0068	0.0075	0.0085
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0037	0.0064	0.0085	0.0104	0.0116
			<b>15.2</b>	0.0044	0.0066	0.0085	0.0098	0.0108
			<b>50.8</b>	0.0044	0.0064	0.0079	0.0091	0.0106
	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0041	0.0052	0.0064	0.0075	0.0085
			<b>15.2</b>	0.0048	0.0058	0.0068	0.0077	0.0087
			<b>50.8</b>	0.0046	0.0058	0.0068	0.0075	0.0085
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0041	0.0056	0.0068	0.0081	0.0095
			<b>15.2</b>	0.0039	0.0052	0.0062	0.0075	0.0089
			<b>50.8</b>	0.0046	0.0056	0.0066	0.0077	0.0087
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0064	0.0081	0.0102	0.0116
			<b>15.2</b>	0.0041	0.0062	0.0085	0.0095	0.0106
			<b>50.8</b>	0.0046	0.0066	0.0077	0.0093	0.0104
	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0041	0.0054	0.0068	0.0073	0.0083
			<b>15.2</b>	0.0044	0.0054	0.0069	0.0075	0.0087
			<b>50.8</b>	0.0046	0.0060	0.0069	0.0077	0.0085
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0037	0.0056	0.0068	0.0081	0.0091
			<b>15.2</b>	0.0041	0.0056	0.0064	0.0075	0.0087
			<b>50.8</b>	0.0042	0.0058	0.0066	0.0075	0.0081
<b>35</b>		<b>6.4</b>	0.0035	0.0066	0.0081	0.0102	0.0114	
		<b>15.2</b>	0.0046	0.0066	0.0083	0.0096	0.0112	
		<b>50.8</b>	0.0042	0.0062	0.0077	0.0091	0.0108	

Anexo C.6: Ensayo de Módulo elástico P 80-100

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

P 80-100								
Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)					
			55.51	111.03	166.54	222.06	277.57	
1	15	6.4	0.0044	0.0060	0.0073	0.0085	0.0094	
		15.2	0.0046	0.0060	0.0071	0.0081	0.0089	
		50.8	0.0050	0.0063	0.0073	0.0083	0.0090	
	25	6.4	0.0040	0.0058	0.0071	0.0081	0.0094	
		15.2	0.0044	0.0060	0.0071	0.0081	0.0090	
		50.8	0.0048	0.0063	0.0075	0.0085	0.0092	
	35	6.4	0.0037	0.0060	0.0079	0.0096	0.0112	
		15.2	0.0033	0.0052	0.0071	0.0087	0.0098	
		50.8	0.0031	0.0042	0.0056	0.0067	0.0081	
	2	15	6.4	0.0046	0.0062	0.0075	0.0087	0.0094
			15.2	0.0044	0.0060	0.0069	0.0079	0.0090
			50.8	0.0054	0.0063	0.0073	0.0085	0.0092
25		6.4	0.0038	0.0056	0.0069	0.0081	0.0092	
		15.2	0.0042	0.0058	0.0069	0.0079	0.0089	
		50.8	0.0050	0.0065	0.0075	0.0087	0.0094	
35		6.4	0.0035	0.0060	0.0077	0.0094	0.0108	
		15.2	0.0033	0.0054	0.0069	0.0087	0.0102	
		50.8	0.0029	0.0040	0.0054	0.0067	0.0079	
3		15	6.4	0.0042	0.0058	0.0073	0.0083	0.0092
			15.2	0.0044	0.0058	0.0069	0.0081	0.0090
			50.8	0.0044	0.0054	0.0071	0.0081	0.0090
	25	6.4	0.0038	0.0056	0.0069	0.0081	0.0096	
		15.2	0.0042	0.0062	0.0071	0.0083	0.0094	
		50.8	0.0046	0.0063	0.0073	0.0085	0.0094	
	35	6.4	0.0035	0.0058	0.0077	0.0094	0.0108	
		15.2	0.0031	0.0050	0.0073	0.0090	0.0102	
		50.8	0.0033	0.0048	0.0060	0.0069	0.0081	

Anexo C.7: Ensayo de Módulo elástico promedio Pro 60-70 y Pro 80-100

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

Pro 60-70								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
Deformación Unitaria	Prom	15	6.4	0.0040	0.0050	0.0063	0.0073	0.0085
			15.2	0.0046	0.0056	0.0068	0.0079	0.0089
			50.8	0.0044	0.0055	0.0065	0.0076	0.0087
		25	6.4	0.0035	0.0052	0.0066	0.0078	0.0089
			15.2	0.0042	0.0057	0.0069	0.0082	0.0091
			50.8	0.0044	0.0055	0.0068	0.0078	0.0090
	35	6.4	0.0033	0.0055	0.0073	0.0085	0.0098	
		15.2	0.0038	0.0055	0.0072	0.0085	0.0096	
		50.8	0.0040	0.0057	0.0068	0.0080	0.0091	

Pro 80-100								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
Deformación Unitaria	Prom	15	6.4	0.0030	0.0050	0.0066	0.0080	0.0092
			15.2	0.0033	0.0048	0.0062	0.0073	0.0083
			50.8	0.0032	0.0041	0.0052	0.0063	0.0072
		25	6.4	0.0026	0.0048	0.0067	0.0083	0.0095
			15.2	0.0031	0.0050	0.0069	0.0078	0.0092
			50.8	0.0033	0.0050	0.0064	0.0076	0.0086
	35	6.4	0.0025	0.0052	0.0072	0.0087	0.0101	
		15.2	0.0024	0.0044	0.0062	0.0076	0.0088	
		50.8	0.0031	0.0050	0.0069	0.0083	0.0092	

Anexo C.8: Ensayo de Módulo elástico promedio TP 60-70 y TP 80-100

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

<b>TP 60-70</b>								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>Prom</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0037	0.0048	0.0062	0.0070	0.0085
			<b>15.2</b>	0.0040	0.0051	0.0060	0.0070	0.0082
			<b>50.8</b>	0.0040	0.0049	0.0059	0.0067	0.0076
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0049	0.0062	0.0076	0.0086
			<b>15.2</b>	0.0033	0.0045	0.0057	0.0070	0.0080
			<b>50.8</b>	0.0038	0.0047	0.0060	0.0068	0.0078
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0036	0.0056	0.0071	0.0084	0.0096
			<b>15.2</b>	0.0035	0.0045	0.0061	0.0072	0.0086
			<b>50.8</b>	0.0033	0.0044	0.0060	0.0070	0.0078

<b>TP 80-100</b>								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>Prom</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0051	0.0066	0.0079	0.0089	0.0098
			<b>15.2</b>	0.0052	0.0066	0.0079	0.0087	0.0093
			<b>50.8</b>	0.0054	0.0065	0.0075	0.0081	0.0087
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0049	0.0069	0.0086	0.0098	0.0110
			<b>15.2</b>	0.0050	0.0064	0.0080	0.0093	0.0104
			<b>50.8</b>	0.0051	0.0061	0.0073	0.0082	0.0093
		<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0046	0.0070	0.0091	0.0106	0.0117
			<b>15.2</b>	0.0049	0.0068	0.0084	0.0100	0.0110
			<b>50.8</b>	0.0050	0.0066	0.0081	0.0093	0.0104

Anexo C.9: Ensayo de Módulo Elástico promedio P 60-70 y P 80-100

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

<b>P 60-70</b>								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>Prom</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0041	0.0053	0.0066	0.0075	0.0085
			<b>15.2</b>	0.0046	0.0056	0.0068	0.0077	0.0086
			<b>50.8</b>	0.0047	0.0059	0.0068	0.0077	0.0086
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0039	0.0055	0.0068	0.0080	0.0092
			<b>15.2</b>	0.0040	0.0054	0.0064	0.0075	0.0087
			<b>50.8</b>	0.0044	0.0056	0.0066	0.0076	0.0084
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0064	0.0082	0.0103	0.0115	
		<b>15.2</b>	0.0044	0.0064	0.0084	0.0096	0.0109	
		<b>50.8</b>	0.0044	0.0064	0.0078	0.0091	0.0106	

<b>P 80-100</b>								
	Probeta	T (°C)	V (mm/min)	Esfuerzo (Kpa)				
				55.51	111.03	166.54	222.06	277.57
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>Prom</b>	<b>15</b>	<b>6.4</b>	0.0044	0.0060	0.0074	0.0085	0.0094
			<b>15.2</b>	0.0045	0.0059	0.0070	0.0080	0.0090
			<b>50.8</b>	0.0049	0.0060	0.0072	0.0083	0.0091
		<b>25</b>	<b>6.4</b>	0.0039	0.0056	0.0070	0.0081	0.0094
			<b>15.2</b>	0.0043	0.0060	0.0071	0.0081	0.0091
			<b>50.8</b>	0.0048	0.0064	0.0074	0.0085	0.0094
	<b>35</b>	<b>6.4</b>	0.0035	0.0059	0.0078	0.0095	0.0109	
		<b>15.2</b>	0.0032	0.0052	0.0071	0.0088	0.0101	
		<b>50.8</b>	0.0031	0.0044	0.0056	0.0068	0.0080	

Anexo C.10: Módulos de Elasticidad Pro 60-70 y Pro 80-100

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

Prob	T (°C)	V (mm/min)	Módulo de Elasticidad (KPa)					
			Pro 60-70			Pro 80-100		
			E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
1	15	6.4	49761.04	47316.64	51476.34	36111.57	31765.29	41009.16
		15.2	51498.98	47316.64	56779.96	43800.86	38218.60	52050.09
		50.8	54515.47	51476.34	56779.96	54105.26	52050.09	57412.83
	25	6.4	42194.52	37797.31	47316.64	31614.99	27318.79	38218.60
		15.2	43318.05	37797.31	51476.34	35702.25	28706.41	47405.09
		50.8	48716.54	43590.92	56779.96	39655.83	35697.09	44076.78
	35	6.4	33528.29	26855.39	43590.92	29292.26	23702.54	38218.60
		15.2	37434.05	31544.42	47316.64	33370.42	28611.04	40732.07
		50.8	45459.17	40283.08	51476.34	34767.04	28706.41	47405.09
2	15	6.4	50439.05	50369.32	51476.34	35483.82	30189.40	44076.78
		15.2	48890.11	47316.64	51476.34	45077.37	38218.60	57412.83
		50.8	52502.02	51476.34	51476.34	56136.01	57412.83	56657.39
	25	6.4	39218.70	35303.60	43590.92	31729.64	27318.79	39922.83
		15.2	48601.50	46882.54	50369.32	37027.96	30189.40	52050.09
		50.8	43604.65	47316.64	40557.12	40216.17	35883.02	43393.41
	35	6.4	34528.36	28295.66	43590.92	29131.24	22855.42	41009.16
		15.2	37252.05	35487.48	40283.08	33810.13	28611.04	41009.16
		50.8	44186.74	40283.08	47316.64	34474.60	28611.04	44076.78
3	15	6.4	47316.64	47316.64	47316.64	35815.01	29968.23	44076.78
		15.2	50439.05	56032.86	47316.64	43800.86	38218.60	52050.09
		50.8	48832.12	51476.34	46882.54	54105.26	52050.09	57412.83
	25	6.4	41531.20	33361.50	56779.96	31614.99	27318.79	38218.60
		15.2	43972.87	40557.12	50369.32	36355.16	28706.41	44163.71
		50.8	54036.57	46882.54	60835.68	43599.42	35150.71	57841.28
	35	6.4	34528.36	28295.66	43590.92	29404.78	24574.97	35697.09
		15.2	36870.11	31544.42	46882.54	35483.82	30189.40	44076.78
		50.8	43887.89	39482.76	46882.54	35768.37	30189.40	48830.50

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

Prob	T (°C)	V (mm/min)	Módulo de Elasticidad (KPa)					
			TP 60-70			TP 80-100		
			E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
1	15	6.4	46552.98	44409.21	47762.62	45024.52	35061.99	62400.28
		15.2	49455.46	52442.65	43720.69	51530.04	40279.55	80014.77
		50.8	61454.66	57845.84	64009.74	69276.86	56391.36	93985.61
	25	6.4	44255.88	41039.28	47762.62	34457.61	29435.05	40279.55
		15.2	48044.72	47762.62	47762.62	40769.11	37538.63	43292.58
		50.8	52465.72	48204.86	57845.84	56211.49	51124.04	62400.28
	35	6.4	35346.35	30194.26	41318.45	29662.88	23442.14	40007.39
		15.2	40108.82	38506.84	41039.28	34000.68	29435.05	40007.39
		50.8	48644.59	44409.21	57084.71	42502.77	35061.99	55649.37
2	15	6.4	44841.73	41039.28	46483.26	46374.48	40007.39	55649.37
		15.2	49836.95	52442.65	42405.78	52104.99	43292.58	69050.65
		50.8	61454.66	57845.84	64009.74	72005.10	55649.37	111298.74
	25	6.4	44423.20	41318.45	48204.86	37414.65	33133.17	43292.58
		15.2	44841.73	44409.21	46483.26	40700.88	40279.55	42621.38
		50.8	55050.94	47762.62	61977.68	49652.77	53536.10	46561.68
	35	6.4	36994.43	30417.09	48204.86	29409.61	23442.14	39212.54
		15.2	40583.54	41318.45	38056.47	33916.54	33133.17	35061.99
		50.8	48314.05	41039.28	64009.74	43665.88	37099.58	53536.10
3	15	6.4	48589.19	47762.62	46483.26	47367.46	40279.55	55649.37
		15.2	58331.94	57845.84	60890.35	51530.04	40279.55	80014.77
		50.8	61454.66	57845.84	64009.74	57417.55	45314.49	75911.45
	25	6.4	40917.63	41318.45	42405.78	35595.88	26671.59	56391.36
		15.2	47325.59	47762.62	48204.86	39191.34	32830.59	51124.04
		50.8	57114.77	54916.93	64009.74	53666.74	46561.68	62400.28
	35	6.4	38109.96	33677.37	43720.69	31199.55	26671.59	38159.57
		15.2	47559.98	40575.32	64009.74	38639.34	31328.54	56812.19
		50.8	46074.54	40223.93	57845.84	36500.80	35061.99	37099.58

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

Prob	T (°C)	V (mm/min)	Módulo de Elasticidad (KPa)					
			P 60-70			P 80-100		
			E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
1	15	6.4	49559.31	47964.30	52180.94	44021.10	38410.76	52311.80
		15.2	56190.95	52180.94	63690.30	51855.92	44298.40	63850.02
		50.8	57557.16	57557.16	57557.16	54913.58	47643.44	63850.02
	25	6.4	42772.07	38314.68	47964.30	42027.66	35876.58	47643.44
		15.2	48623.61	44187.59	52180.94	48357.79	40936.87	57701.50
		50.8	53934.40	47524.26	63690.30	49712.60	40936.87	63850.02
	35	6.4	27395.51	22912.88	35239.08	29557.70	26155.90	33902.95
		15.2	33871.56	27387.47	47524.26	33206.16	28850.75	40936.87
		50.8	36630.70	31845.15	40834.47	44354.27	44298.40	44298.40
2	15	6.4	49559.31	47964.30	52180.94	45124.06	38410.76	56942.27
		15.2	57557.16	57557.16	57557.16	49332.06	43611.60	52311.80
		50.8	58463.95	52180.94	63690.30	56418.26	57701.50	56942.27
	25	6.4	41646.86	40834.47	41112.26	41472.95	35876.58	48084.58
		15.2	44835.18	47524.26	41112.26	48357.79	40936.87	57701.50
		50.8	54241.28	57557.16	52180.94	49954.21	43611.60	56942.27
	35	6.4	27238.56	23492.72	31458.37	30308.12	25942.09	35876.58
		15.2	32755.48	25009.09	52180.94	32306.45	30118.91	33902.95
		50.8	38579.98	35239.08	40834.47	43673.15	44298.40	44298.40
3	15	6.4	52149.11	41112.26	70478.16	43733.65	36063.44	57701.50
		15.2	51591.33	43502.51	61668.39	47924.83	44298.40	52311.80
		50.8	57793.05	47524.26	71946.45	45959.57	40123.56	57701.50
	25	6.4	41095.24	35239.08	47524.26	39351.73	35876.58	40936.87
		15.2	49208.66	46251.29	47964.30	43692.89	37093.82	48084.58
		50.8	57044.92	46251.29	70478.16	46656.83	40123.56	52311.80
	35	6.4	27766.88	23125.65	32908.24	30079.25	26155.90	35876.58
		15.2	34105.54	30265.30	38314.68	29987.10	26155.90	37961.51
		50.8	34557.61	31845.15	35786.84	46955.60	40936.87	52311.80

*Anexo C.13: Módulos de elasticidad Promedio Pro 60-70 y Pro 80-100*

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

T (°C)	V (mm/min)	Módulo de Elasticidad (KPa)					
		Pro 60-70			Pro 80-100		
		E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
15	6.4	49199.95	48549.64	50042.25	35820.31	30639.63	43023.77
	15.2	50377.02	50042.25	51602.35	44237.77	38268.92	53754.53
	50.8	51902.02	51476.34	51602.35	54801.88	53754.53	57327.90
25	6.4	41000.67	35405.52	48655.30	31670.14	27318.79	38903.97
	15.2	45231.11	41472.30	50855.40	36445.94	29190.17	48563.48
	50.8	48600.30	45937.14	51476.34	41391.89	35697.09	49090.77
35	6.4	34191.91	27802.53	43590.92	29292.26	23702.54	38218.60
	15.2	37231.51	32757.67	44661.33	34204.83	29123.24	41934.55
	50.8	44530.24	40072.49	48549.64	35046.84	29190.17	47069.22

*Anexo C.14: Módulos de elasticidad Promedio TP 60-70 y TP 80-100*

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

		<b>Módulo de Elasticidad (KPa)</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>V (mm/min)</b>	<b>TP 60-70</b>			<b>TP 80-100</b>		
		<b>E</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>E</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>
<b>15</b>	<b>6.4</b>	46647.16	44254.33	46996.12	46351.89	38343.03	58312.78
	<b>15.2</b>	53186.32	54159.95	50981.64	51752.12	41253.79	76059.20
	<b>50.8</b>	61454.66	57845.84	64009.74	66050.60	52798.16	93600.42
<b>25</b>	<b>6.4</b>	43220.14	41287.25	46349.05	35933.85	29603.73	45711.60
	<b>15.2</b>	46810.39	46890.61	47762.62	40336.53	36753.82	45711.60
	<b>50.8</b>	55036.74	50516.06	61872.46	53476.13	51124.04	56307.94
<b>35</b>	<b>6.4</b>	36819.99	31382.82	44409.21	30328.69	24502.54	42153.01
	<b>15.2</b>	42820.50	40824.73	45499.72	35580.22	31271.34	42621.38
	<b>50.8</b>	47704.26	41918.92	59627.82	40954.99	35945.67	48217.37

*Anexo C.15: Módulos de elasticidad Promedio TP 60-70 y TP 80-100*

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

		<b>Módulo de Elasticidad (KPa)</b>					
<b>T (°C)</b>	<b>V (mm/min)</b>	<b>P 60-70</b>			<b>P 80-100</b>		
		<b>E</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>E</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>2</sub></b>
<b>15</b>	<b>6.4</b>	50589.68	45439.87	57557.16	44309.24	37607.72	55666.38
	<b>15.2</b>	55171.13	50552.50	61563.69	49732.76	44143.91	55820.80
	<b>50.8</b>	58101.54	52180.94	63923.17	52235.26	48035.16	59479.03
<b>25</b>	<b>6.4</b>	41912.54	38064.42	45397.95	40947.94	35876.58	45386.18
	<b>15.2</b>	47567.18	46117.75	46656.61	46733.92	39677.47	54095.16
	<b>50.8</b>	55499.50	50727.22	61563.69	48765.76	41553.19	57361.58
<b>35</b>	<b>6.4</b>	27489.78	23233.63	33139.41	29987.33	26100.13	35205.26
	<b>15.2</b>	33672.70	27405.87	45439.87	31834.55	28375.24	37419.21
	<b>50.8</b>	36564.48	32946.13	39216.51	45059.74	43276.12	46773.61