

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE  
FATIGA DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO  
MEDIANTE ENSAYOS ELEMENTALES**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**

**GALO ERNESTO RODRÍGUEZ SALAZAR**

**SANGOLQUÍ, 12 de Diciembre del 2008**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. GALO ERNESTO RODRÍGUEZ SALAZAR como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

12 de Diciembre del 2008

---

**ING. MILTON TORRES**

---

**ING. EDISON MORENO**

**REVISADO POR**

---

**ING. JORGE ZÚÑIGA**

## DEDICATORIA

Mi título va dedicado a mis padres, Galo Rodríguez, Rosa Salazar, por ser la razón de mi existencia, que gracias a su cariño, sacrificio, apoyo, junto a mis hermanos, Fabián, Tannya, José, Pedro, me dieron la fuerza y compartieron junto a mi el éxito y el fracaso que implica labrarse una profesión. A Cristina Dayana, mi osita, gracias por todo su amor comprensión y paciencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Milton Torres, Director de tesis, Ing. Edison Moreno Codirector, por su orientación en el desarrollo y culminación de esta tesis, a todos los profesores de la ESPE, a la Facultad de Ingeniería Civil, en especial al Ing. Jorge Zúñiga quien ha sido un pilar importante en la culminación de este trabajo. También a Darío, Maria Augusta, Diego, Cesar, Wilmer, Gabriela, Edwin, Silvia, Alexandra, que de alguna u otra manera me brindaron su apoyo para culminar con éxito ésta carrera

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.2. OBJETIVOS .....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	8
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
2.1. FATIGA MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	10
2.1.1. DEFINICIÓN DE FATIGA.....	11
2.1.2. ORIGEN .....	14
2.1.3 COMO SE PRESENTA LA FATIGA EN LOS PAVIMENTOS. ....	24
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>26</b>
<b>PROCEDIMIENTOS EXISTENTES PARA ESTABLECER EL DAÑO POR</b>	
<b>FATIGA EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....</b>	<b>26</b>
3.1. DEFORMACIONES PERMANENTES .....	27
3.2. DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES USUALES .....	30
3.2.1. PRUEBAS UTILIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA	
DEFORMACIÓN PERMANENTE EN EL CONCRETO ASFÁLTICO.....	30
3.2.2 MODELOS CONSTITUTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA	
FATIGA EN EL CONCRETO ASFÁLTICO .....	36
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>42</b>
<b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO .....</b>	<b>42</b>
4.1. IMPORTANCIA.....	43
4.2 ENSAYOS REALIZADOS .....	45
4.2.1 ENSAYO DE CÁNTABRO (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES). ....	46
4.2.2 ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL.....	60
4.2.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	63
4.2.4 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA.....	68

<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>70</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>70</b>
5.1 ENSAYO CÁNTABRO .....	71
5.2 ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL.....	76
5.3 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE.....	80
5.4 ENSAYO COMPRESIÓN CONFINADA.....	84
5.5 ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA.....	85
5.5.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD O RESILIENCIA .....	89
5.5.2 MÓDULO DE RIGIDEZ.....	91
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>95</b>
<b>CRITERIOS ANALIZADOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA</b>	
<b>FATIGA .....</b>	<b>95</b>
6.1 CRITERIO DEL CRR (CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CARRETERAS	
DE BÉLGICA). .....	96
6.2 CRITERIO EXPERIMENTAL.....	98
6.3 CRITERIO DEL ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA.....	103
6.4 CRITERIO BASADO EN LA PROPUESTA SHELL .....	105
6.5 CRITERIO BASADO EN LA LEY DE MINER Y PROGRAMA DEPAV .....	107
<b>CAPÍTULO VII .....</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
7.1. CONCLUSIONES. ....	110
7.2. RECOMENDACIONES.....	113

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 3. 1 Evaluación comparativa de métodos de pruebas uniaxiales .....	31
Tabla 3. 2 Evaluación comparativa de métodos de pruebas triaxiales .....	32
Tabla 3. 3 Evaluación comparativa de métodos de pruebas diametrales .....	33
Tabla 3. 4 Evaluación comparativa de métodos de pruebas de simulación .....	34
Tabla 3. 5 Evaluación comparativa de métodos de pruebas cortante .....	35
Tabla 3. 6 Evaluación comparativa de métodos de pruebas empíricas.....	36
Tabla 4. 1 Número total de muestras (Briquetas) .....	43
Tabla 4. 2 Briquetas - Ensayo de cántabro .....	46
Tabla 4. 3 Resultados ensayo de cántabro.....	47
Tabla 4. 4 Briquetas - Ensayo estabilidad marshall.....	61
Tabla 4. 5 Resultados ensayo estabilidad marshall.....	62
Tabla 4. 6 Briquetas - Ensayo de compresión .....	63
Tabla 4. 7 Resultados ensayo compresión simple .....	64
Tabla 4. 8 Compresión confinada deformaciones .....	67
Tabla 4. 9 Briquetas para el ensayo de tracción indirecta.....	68
Tabla 4. 10 Resultados ensayo de tracción indirecta .....	69
Tabla 5. 1 Carga de rotura y tensión ensayo compresión simple .....	80
Tabla 5. 2 Resultados de deformaciones permanente, recuperable, y total .....	85
Tabla 5. 3 Carga de rotura y tensión ensayo tracción indirecta.....	86
Tabla 5. 4 Módulo de resiliencia tracción indirecta.....	89
Tabla 5. 5 Resultados módulo de rigidez .....	93
Fig 6. 1 Resultados de deformación total.....	97
Fig 6. 2 Resultados de ensayo de fatiga obtenidos en otros países.....	99
Fig 6. 3 Esfuerzo desviador vs $N_t$ .....	100
Tabla 7. 1 Resultados obtenidos de ensayos realizados.....	110

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 5. 1 Resultados de ensayo cántabro .....	71
Cuadro 5. 2 Resultados de ensayo estabilidad marshall .....	76
Cuadro 5. 3 Variación de la densidad .....	79
Cuadro 5. 4 Resultados de ensayo compresión simple .....	82
Cuadro 5. 5 Resultados de ensayo de tracción indirecta .....	87
Cuadro 5. 6 Módulos de elasticidad.....	90
Cuadro 5. 7 Módulo de rigidez .....	94



## LISTADO DE FIGURAS

Fig 2. 1 Ley de Fatiga .....	12
Fig 2. 2 Comparación de las leyes de fatiga obtenidas en diferentes investigaciones ....	13
Fig 2. 3 Fatiga en la zona de paso de cargas, la huella. ....	24
Fig 2. 4 Fisuración longitudinal debida a causas no estructurales.....	24
Fig 4. 1 Relación $\sigma$ vs H/D.....	65
Fig 5. 1 Deformación permanente, recuperada y total.....	84
Fig 5. 2 Nomograma de Van Der Poel para determinar la rigidez del asfalto .....	91
Fig 5. 3 Nomograma para el cálculo del módulo de rigidez de las mezclas asfálticas ...	92
Fig 6. 1 Resultados de deformación total.....	97
Fig 6. 2 Resultados de ensayo de fatiga obtenidos en otros países.....	99
Fig 6. 3 Esfuerzo desviador vs $N_t$ .....	100
Fig. I Máquina de los Ángeles.....	119
Fig. II Máquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión simple .....	135
Fig. III Máquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión. ....	149
Fig. IV Briquetas en baño maría y ensayo marshall .....	159

## LISTADO DE ANEXOS

Anexo I. Ensayo cántabro.....	106
Anexo II. Ensayo de compresión.....	122
Anexo III. Ensayo tracción indirecta.....	136
Anexo IV. Ensayo estabilidad marshall.....	145

## ABREVIATURAS

FM	Fórmula maestra
Nf	Aplicaciones de la carga hasta la rotura
RAP	Reclaimed asphalt pavement ( <i>Regeneración de pavimentos y asfaltos</i> )
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials ( <i>Asociación Americana de Estado de Carreteras y Transportes Oficiales</i> )
MS	Médium setting ( <i>Establecimiento de medios</i> )
ASTM	Asociación Americana de Ensayos y Materiales
SS	Show setting ( <i>Mostrar configuración</i> )
CS <sub>2</sub>	Bisulfuro de carbono
°C	Grado Centígrados
°F	Grado Farenheit
Mpa	Mega pascales
PSI	Libras por pulgada cuadrada (unidades de presión)
cm	Centímetros
mm	Milímetros
gr	Gramos
T	Toneladas
Kg	Kilogramos fuerza
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
m	Metro

## **RESUMEN**

El diseño y evaluación de pavimentos con propósitos de construcción y rehabilitación requiere de una cuidadosa determinación de factores tales como: capacidad de carga del suelo de cimentación, propiedades de los materiales, tipo de tránsito y volumen, condiciones ambientales, etc. Sin duda, las propiedades de los materiales constituyen uno de los factores más importantes en el diseño estructural del pavimento así como en el comportamiento que presente durante su vida útil.

En nuestro país uno de los factores importantes en la duración de los pavimentos asfálticos es su alteración por efecto de fatiga de las cargas de rodadura construidos con mezclas asfálticas.

En este sentido este trabajo pretende definir las causas principales de fatiga en las mezclas asfálticas y así tratar de encontrar soluciones para el mejoramiento de la fabricación de las mismas, contribuyendo así a la disminución considerable del mantenimiento y reasfaltado de las carreteras en el Ecuador. La información obtenida en este trabajo, fue a partir de la realización de ensayos de laboratorio de mezclas asfálticas, donde se evaluaron 70 muestras húmedas y secas, de 5 diferentes proyectos de carreteras en el Ecuador, con sus respectivas fórmulas maestras, estos ensayos constituyen un complemento indispensable para la determinación de la fatiga en carreteras de una forma rápida y económica.

## ABSTRACT

The design and evaluation of pavements for purposes of construction and rehabilitation requires careful determination of such factors as: load capacity of the soil foundation, physical and mechanical characteristics of the soils of the foundation, material properties, type and volume of traffic, Environmental conditions, and so on. Undoubtedly, the properties of materials are one of the most important factors in the design of structural pavement as well as in the behavior they present during their lifetime.

In our country one of the important factors in the length of the asphalt pavement is its alteration of the effect of fatigue loads rolling built with asphalt mixtures.

In this respect this work attempts to define the major causes of fatigue in asphalt mixtures and try to find solutions for the improvement of manufacturing them, thus contributing to the significant decline in reasfaltado and maintenance of roads in Ecuador. The information obtained in this work, was after the completion of laboratory testing of asphalt mixtures, where 70 samples were evaluated wet and dry, 5 different road projects in Ecuador, with their respective formulas teachers, these tests are a indispensable complement to the determination of fatigue on roads in a fast and economical.

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**  
**Y OBJETIVOS**

## **1.1. INTRODUCCIÓN.**

La infraestructura vial incide mucho en la economía de nuestro país por el gran valor que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, mantenimiento o rehabilitación hay que adicionarle también los costos que se derivan por el mal estado de las vías que se miden en el costo de operación de los vehículos, seguridad, aumento del consumo de combustible, etc.

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezcan las características de los materiales de las distintas capas del pavimento y los espesores, de tal forma que el pavimento mantenga un "índice" de servicio aceptable durante la vida de servicio estimada.

Existen en general dos clases de estructuras de pavimento: flexibles y rígidos; la principal diferencia entre estos es la forma como reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del hormigón asfáltico y el material que lo conforman.

### **Fatiga en los materiales del hormigón asfáltico.**

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se obtiene cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no permite transportar cómoda y en forma segura

a los vehículos. La falla estructural está asociada con la pérdida de resistencia de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no puede soportar las cargas a la que está sometido.

La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren una degradación estructural que altera su comportamiento en servicio.

La apropiada selección de los materiales constituye un aspecto de gran importancia en el diseño racional de pavimentos; sobre este tema se debe hacer mucha más investigación de la que existe hasta el momento en nuestro medio; las propiedades de los materiales se pueden obtener de varias maneras:

- Ensayos de laboratorio combinados con ensayos no destructivos.
- Estimación o uso de nomogramas con correlaciones estadísticas.
- Comparación con materiales "estándar" de características similares.
- Medición "in situ" basándose en ensayos no destructivos.

Uno de los parámetros que afectan el comportamiento estructural de los pavimentos es el esfuerzo de fatiga que sufre por estar sometida a cargas repetidas. Como se considera que los materiales que conforman la estructura durante su vida útil están trabajando dentro del rango elástico, entonces la fatiga de estos es causada por repeticiones de carga, impuestas por el tránsito. Por consiguiente, el comportamiento a la fatiga para las capas que conforman el pavimento se presenta normalmente como una relación entre las repeticiones de carga y la deformación.



El procedimiento de diseño consiste en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y selección de materiales para que los esfuerzos y deformaciones causados por las solicitaciones a que se somete la estructura, permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la estructura que están constituyendo.

Como el estudio de resistencia a la fatiga requiere de ensayos largos y complicados, en este trabajo se pretende establecer procedimientos rápidos y sencillos que nos permitan determinar procedimientos que puedan utilizarse en su análisis.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

“Determinación de las Características de la Fatiga en el Hormigón Asfáltico mediante Ensayos Elementales”, en diferentes clases de pavimentos, para su uso en la construcción y mejoramiento de las vías.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio sobre los diferentes tipos de criterios de falla por fatiga, definir sus problemas y dar algunas soluciones.
- Establecer las características de la fatiga que se produce en las mezclas asfálticas.
- Recabar y analizar los resultados del laboratorio para la implementación de la solución en la fabricación del hormigón asfáltico, para contribuir a la mejora del diseño de los pavimentos.
- Determinar la resistencia a la tracción en las mezclas asfálticas, mediante el ensayo de tracción indirecta, y proponer nuevos criterios de diseño.
- Estudiar el comportamiento de las mezclas asfálticas en condiciones críticas de carga en diferentes ensayos de laboratorio.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En el Ecuador en la actualidad cuenta con una red vial nacional muy extensa, de la cual aproximadamente el 16 % esta conformada con pavimentos flexibles. Dentro de estas las condiciones de la red vial están en su gran mayoría en malas condiciones, debido a la falta de controles estrictos durante el proceso de elaboración de mezclas asfálticas colocación y puesta en servicio del pavimento.

Además estos pavimentos acusan un deterioro muy rápido debido a la incidencia de la fatiga, que no han sido suficientemente estudiados en nuestro país, es por esta razón que se desarrolla este tema de estudio, para aportar con mayor información sobre este fenómeno en mezclas asfálticas.

Es por ello, el tema de investigación de esta tesis es de gran importancia para el país, puesto que en la actualidad el desgaste y la destrucción de los pavimentos son muy comunes, por lo que este documento servirá de aporte para evitar el desperdicio de recursos que se producen en la construcción de pavimentos.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. FATIGA MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

Fatiga es fenómeno progresivo y permanente del material bajo cargas repetitivas o ciclos. Convencionalmente se hace una distinción entre fatiga de baja y alta amplitud. Ciclos repetitivos de gran amplitud (impactos), donde la respuesta del material es no lineal dan lugar a un gran daño del hormigón.

El asfalto es un material que puede ser considerado elástico de comportamiento lineal a temperaturas bajas y frecuencias de cargas altas, pero ciertas propiedades viscosas y plásticas a temperaturas mayores, debido a este comportamiento, las cargas repetidas del tránsito generan deformaciones permanentes en las capas asfálticas, especialmente durante el periodo de verano.

El comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones permanentes depende del tipo de ligante utilizado, de la composición de la mezcla, forma y tamaño de las partículas, la calidad de los agregados y aditivos.

La temperatura del asfalto es un factor que afecta a la deformación permanente. Además los gradientes de temperatura pueden tener una gran influencia sobre esta deformación. La temperatura máxima, el gradiente de temperatura pueden ser cambiados por la conductividad térmica de la mezcla, así como la brillantez o reflectividad, por medio de la selección del agregado.

La forma de la vía y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de la zona de rodadas está

influenciada por la velocidad del tránsito, ancho de carril y profundidad de los ahuellamientos.

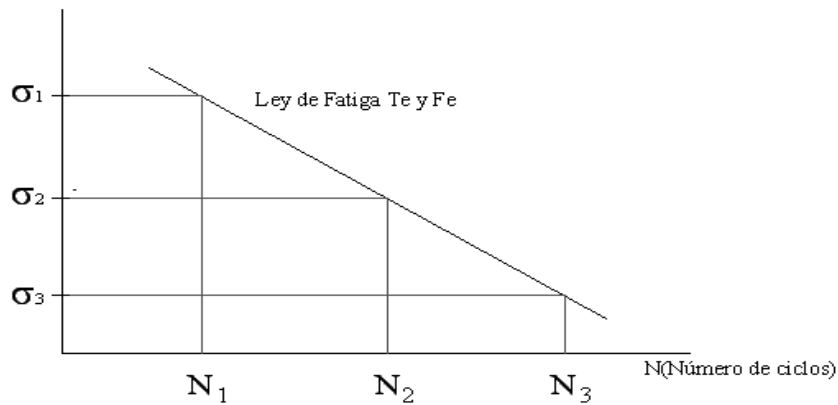
La deformación permanente se caracteriza por una sección de superficie cruzada que ya no se encuentra en su posición de diseño. Se le llama permanente porque representa una acumulación de pequeñas cantidades de deformación irrecuperable que ocurre cada vez que se aplica la carga. Existen dos principales tipos de ahuellamientos: ahuellamiento por fallas en la subrasante y ahuellamiento por fallas en la capa de asfalto.

### **2.1.1. DEFINICIÓN DE FATIGA.**

Fatiga es un fenómeno cíclico de carga y descarga que con mucha frecuencia se produce en la huella de los neumáticos donde las cargas son aplicadas, pero también se produce a lo largo y ancho del pavimento pero en menor proporción. Las fisuras generadas por la fatiga son fallas longitudinales intermitentes a lo largo de la huella (esto es, en la dirección del tránsito) son un signo prematuro de la fisuración por fatiga.

La fatiga genera un proceso de daño progresivo y permanente del material bajo cargas repetitivas. Convencionalmente se hace una distinción entre fatiga de baja y alta amplitud. Ciclos repetitivos de gran amplitud (impactos), donde la respuesta del material es no lineal dan lugar a un gran daño de las mezclas asfálticas en un número relativamente de ciclos.

Para obtener el número de aplicaciones de carga de una determinada magnitud es necesario someter a un grupo de muestras a diferentes cargas hasta producir la rotura completa de estas, lo mencionado se puede dar variando el nivel de esfuerzos en cada grupo de probetas: con lo cual es posible obtener una curva que relaciona la magnitud de sollicitación aplicada versus el número de repeticiones admisibles como se ilustra en la figura 2.1. (Benavides, 1994).



**Fig 2. 1** Ley de Fatiga \*\*

Una de las manifestaciones tempranas de agrietamiento por fatiga en la capa de rodadura son los rompimientos intermitentes longitudinales en las huellas de las llantas del tránsito. El rompimiento por fatiga es progresivo, ya que en algún punto los rompimientos iniciales se unen, causando mayor número de rompimientos. El avanzado rompimiento por fatiga se le conoce como rompimiento de lagarto o piel de cocodrilo.

La Ley de Miner considera este tipo de fallas en el concreto asfáltico mediante las siguientes expresiones:

\*\* *Fuente:* Benavides, 1994.

$$Nt = M \times \varepsilon^b$$

$$Nt = K \times \sigma^a$$

Donde:

K, M, a, b: Constantes

Nt: Número de aplicaciones de carga

$\sigma$ : Tensión aplicada

$\varepsilon$ : Deformación que involucra la falla después de Nt ciclos.

Teniendo en cuenta que a nivel nacional es muy poca la experiencia en el campo de la caracterización dinámica de mezclas asfálticas, se recurrió estudios similares relacionándose con otros países en idénticas condiciones de ensayo, como las realizadas en Argentina (IMAE), Brasil (Preusler), Estados Unidos de Norteamérica (Monismith), Gran Bretaña (Kennedy y Sterling) y Colombia; cuyos resultados se resumen en la figura 2.2 en la cual se observa una concordancia entre los resultados obtenidos.

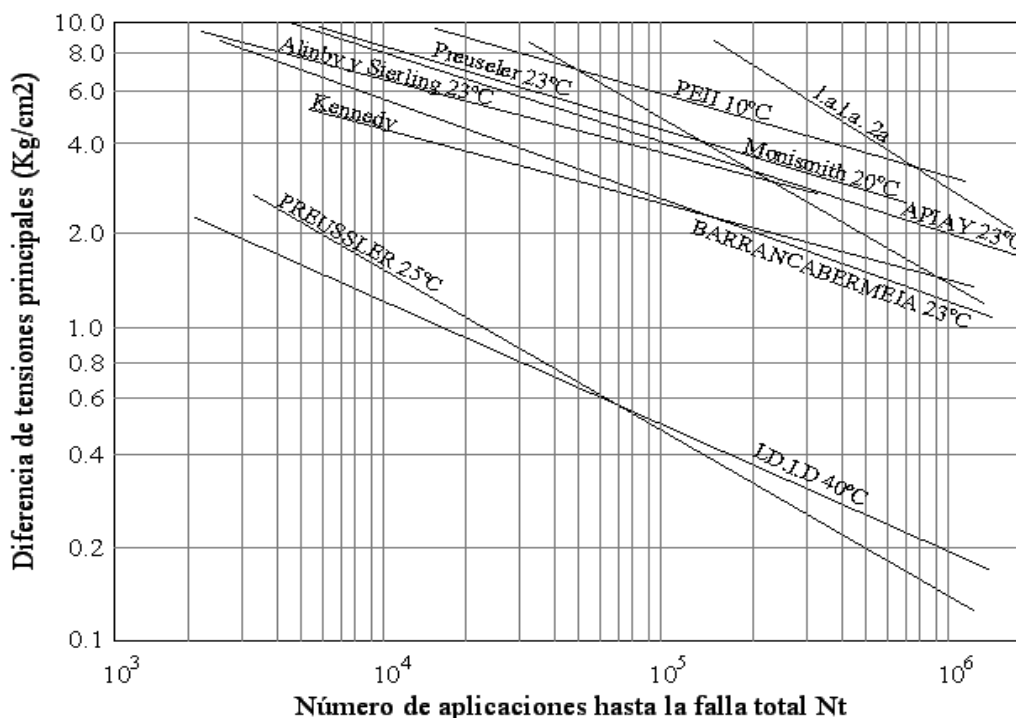


Fig 2. 2 Comparación de las leyes de fatiga obtenidas en diferentes investigaciones



## **2.1.2. ORIGEN**

### **Agrietamiento por fatiga**

Aunque generalmente una carga simple no genera grietas en el pavimento, las repeticiones de carga pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortantes y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas, causan la formación de microgrietas. Estas microgrietas acumuladas por la repetición de cargas pueden generar macrogrietas visibles. Este proceso es llamado agrietamiento por fatiga.

El rompimiento por fatiga es causado por numerosos factores que ocurren en forma simultánea. Entre ellos, las cargas repetitivas; deflexiones pequeñas bajo las ruedas de los vehículos; grandes deflexiones aunadas a la tensión horizontal en la superficie de la capa de asfalto y mal drenaje, generado por un sistema constructivo inadecuado construcción y un mal diseño del pavimento.

Frecuentemente, el rompimiento por fatiga es el signo que el pavimento ha sobrepasado el número de aplicaciones de carga para el cual fue diseñado y en este caso el pavimento necesitará una rehabilitación planificada. Asumiendo que el rompimiento por fatiga se presente después del tiempo de diseño, debe considerarse una progresión natural de la estrategia de diseño del pavimento. Si el rompimiento ocurre mucho antes de lo esperado, puede ser el signo que las cargas del tránsito fueron subestimadas. Consecuentemente, los mejores consejos para prevenir el rompimiento por fatiga son: un diseño adecuado de la cantidad de cargas, mantener la subrasante seca, utilizar pavimentos más gruesos, utilizar materiales de

pavimentación no susceptibles a la humedad, y utilizar mezclas asfálticas elásticas que soporten las deflexiones normales.

La selección de materiales elásticos depende estrictamente del diseño y las características de los materiales. Las mezclas asfálticas deben tener la suficiente resistencia para soportar la tensión aplicada a la base de la capa de asfalto y ser lo suficientemente elásticas para soportar la aplicación de cargas cíclicas sin romperse. Además, la mezcla asfáltica debe diseñarse para que se comporte como un material elástico cuando se carga a tensión y se sobreponga al rompimiento por fatiga, acompañado de un límite en las propiedades de dureza del cemento asfáltico, es decir el comportamiento a tensión de las mezclas asfálticas está fuertemente influenciado por el cemento asfáltico. En efecto, los asfaltos blandos tienen mejores propiedades con respecto al rompimiento por fatiga que los asfaltos duros.

### **Pruebas utilizadas para la caracterización de la fatiga en el concreto asfáltico**

Diversas metodologías de prueba pueden ser aplicadas para medir el comportamiento por fatiga del concreto asfáltico. En base a los resultados obtenidos y de las experiencias anteriores de diversos investigadores, los métodos de prueba que han sido identificados como los más promisorios para su uso en la medición de las propiedades de las mezclas que afectan significativamente el comportamiento del pavimento se detallan a continuación:

- Pruebas de fatiga por flexión (viga prismática, viga en voladizo trapezoidal)
- Pruebas de fatiga por tensión (diametral, compresión uniaxial)
- Métodos de mecanismos de fractura, resistencia y rigidez a la tensión

El criterio para la selección del método de prueba incluye:

- Sensitividad a variables de la mezcla, particularmente a las propiedades del asfalto
- Simulación razonable de las condiciones de campo
- Predicción de propiedades fundamentales que pueden ser utilizadas en un diseño apropiado o modelos de comportamiento
- Facilidad y simplicidad en su uso
- Requerimientos de tiempo
- Confiabilidad, exactitud y precisión

Implícitamente, también se encuentra la relevancia del método de prueba para el deterioro específico que se encuentra bajo investigación. Sin embargo, la consideración que prevalece es la habilidad de la prueba para relacionar el comportamiento del pavimento y ser sensitivo a las propiedades del material (asfalto y agregado).

### **Factores que afectan las deformaciones permanentes en el concreto asfáltico**

Los principales factores que afectan las deformaciones permanentes en el concreto asfáltico son:

- Nivel de esfuerzos
- Número de repeticiones de carga
- Tipo de asfalto
- Contenido de asfalto

- Tipo y contenido de modificadores
- Contenido de vacíos en la mezcla
- Contenido de vacíos en el agregado mineral
- Método de compactación
- Tipo de agregado
- Forma, textura y tamaño de las partículas
- Temperatura
- Agua

### **Nivel de esfuerzos**

Durante una serie de ensayos que tiene como fin observar el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo distintas condiciones de prueba, se utilizan dos niveles de esfuerzos, para la realización de dichos estudios. Se encuentra que no existe una gran influencia de parte del nivel de esfuerzos sobre las probetas ensayadas.

Por otro lado, el incremento en la presión de contacto de las llantas sobre la capa de rodadura, produce una disminución en la resistencia de las mezclas asfálticas a la presencia de ahuellamiento.

### **Número de repeticiones de carga**

Un incremento en el número de repeticiones de las cargas establece una disminución en la resistencia de los pavimentos a la generación de ahuellamiento. Es decir, cuando se incrementa el número de repeticiones, el pavimento está más propenso a sufrir este tipo de deterioros.

### **Tipo de asfalto**

Los resultados en los asfaltos modificados con polímeros, multigrados y duros mejoran la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas. Mientras que no existe una diferencia entre los asfaltos normales en los primeros 3000 ciclos de carga, más allá de este punto, los asfaltos modificados exhiben un rápido crecimiento del ahuellamiento.

### **Contenido de asfalto**

Los contenidos de asfalto mayores a 7%, para todos los contenidos de vacíos producen las mayores deformaciones inelásticas, los mayores contenidos de vacíos producen mayores deformaciones.

### **Tipo y contenido de modificadores**

Las mezclas asfálticas con contenido de caucho tienen una baja resistencia estática a la fluencia, comparadas con las mezclas convencionales; esta diferencia es más pronunciada para altas temperaturas de prueba, bajo carga constante, las mezclas modificadas se deforman más rápidamente que las mezclas convencionales, mientras que bajo carga repetida las mezclas modificadas se deforman menos que las convencionales.

### **Contenido de vacíos en la mezcla**

Un incremento en el porcentaje de vacíos de la mezcla mayor a 15 %, provoca una disminución en la resistencia de la mezcla a la generación de

ahuellamiento. Este concepto se analiza al realizar diversas pruebas de compresión axial en fluencia. Las mezclas con bajo porcentaje de vacíos se comportan mejor que las mezclas de altos contenidos.

### **Vacíos en el agregado mineral**

Un incremento en el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, provoca un decremento en la resistencia de la mezcla a la generación de ahuellamiento.

Un incremento en los vacíos y en el espesor causa un incremento en las deformaciones permanente.

### **Método de compactación**

La selección de un método de compactación en laboratorio tendrá efecto sobre el comportamiento de la mezcla como el tipo de agregado, tipo de ligante, contenido de finos o contenido de vacíos.

El método de compactación, ya sea en campo o en laboratorio, puede influenciar la estructura del sistema y por lo tanto, la propensión al ahuellamiento.

### **Tipo de agregado**

La variación de un agregado con granulometría abierta a una con granulometría continua, incrementa la resistencia de las mezclas asfálticas.

### **Temperatura**

Un incremento en la temperatura de prueba de las mezclas asfálticas, genera un decremento en la resistencia a la generación de ahuellamiento.

## **Agua**

El agua puede incrementar la propensión de una mezcla a la deformación permanente. Los efectos del agua pueden ser considerados en la fase inicial de diseño de las mezclas o como una parte del proceso de evaluación de las mezclas.

Cuando existe una modificación de la estructura de pavimento de estado seco a húmedo, se presenta una disminución de la resistencia de la mezcla, cuando ésta es sensible al agua.

## **Factores que afectan la falla por fatiga en el concreto asfáltico**

Los principales factores que afectan al concreto asfáltico son:

- Nivel de esfuerzos del suelo
- Tipo de asfalto
- Contenido del asfalto
- Tipo de agregados
- Contenido de vacíos
- Métodos de compactación
- Temperatura

## **Nivel de esfuerzos del suelo**

El tiempo de vida por fatiga de los pavimentos determinados mediante pruebas de laboratorio generalmente es menor que los observados en el campo. La razón de que las ecuaciones fallan al predecir la fatiga en los pavimentos es debido a las diferencias entre las condiciones de carga en laboratorio y en campo; las principales son las siguientes:

- En el campo, hay un periodo de reposo entre las aplicaciones de carga que permite la relajación de los materiales del pavimento.
- En el campo, los esfuerzos residuales a tensión pueden permanecer en la parte inferior de la capa superficial después del paso de cada carga y por lo tanto "preesforzar" la capa de manera que los esfuerzos a tensión que ocurren cuando pasa la siguiente carga causan daño por fatiga.
- En el campo, estos esfuerzos residuales se relajan con el tiempo; con un periodo de espera suficiente entre las cargas, los esfuerzos residuales no permanecerán.
- En el laboratorio, los esfuerzos residuales también aumentan en las probetas ensayadas a fatiga. Después de varios ciclos, la tensión actúa sobre una cara durante la carga y la misma magnitud de la tensión actúa sobre la otra cara durante el periodo de reposo entre los pulsos de carga.

El nivel de esfuerzos tiene una gran influencia sobre la vida por fatiga de las mezclas asfálticas existiendo disminuciones considerables en función de un incremento en el nivel de esfuerzos.

### **Tipo de asfalto**

El tipo de asfalto en los ensayos de laboratorio con temperaturas bajas y con contenidos de asfalto menores tiene menor tiempo de vida por fatiga con respecto a las muestras con mayor contenido de asfalto. Para altas temperaturas los valores de



vida por fatiga difieren en un mayor porcentaje con respecto a los obtenidos para temperaturas bajas.

### **Contenido de asfalto**

El mejoramiento en la resistencia a la fatiga al incrementar un porcentaje específico de contenido de asfalto se vuelve menos significativo al utilizar un contenido de asfalto mayor (7%). De manera general disminuye la vida por fatiga para contenidos de asfalto altos en relación con los contenidos de asfalto óptimo.

### **Tipo de agregados**

La predicción de vida relativa es totalmente sensible a las variaciones de la resistencia. Las variaciones en granulometrías granulares tendrán significativamente un impacto muy perjudicial sobre la vida por fatiga, dentro del rango normal de contenidos de vacíos y variación de granulometrías, la vida por fatiga es generalmente más sensible al contenido de vacíos (es decir, la compactación) que a la granulometría.

### **Contenido de vacíos**

Hay una disminución considerable en los valores de falla por fatiga de las mezclas asfálticas, con respecto al aumento en el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas. El efecto de contenido de vacíos para temperaturas altas es más pronunciado que para temperaturas bajas porque para la temperatura mayor la falla está gobernada por la prolongación de las grietas a través de la unión de vacíos.

## **Método de compactación**

Las propiedades de las mezclas asfálticas pueden ser mejoradas mediante la selección de modificadores en un apropiado rango de peso molecular y mezclando los modificadores con mezclas asfálticas de una manera apropiada. Además, estos modificadores deben tener parámetros de solubilidad cercanos a los de las mezclas asfálticas.

La falla por fatiga de las mezclas asfálticas modificadas es mayor comparada con las mezclas convencionales y con las mezclas procesadas. El incremento de la vida por fatiga se debe a un incremento en la resistencia a la tensión y en las propiedades plásticas de las mezclas.

## **Temperatura**

La capa de concreto asfáltico a temperatura alta fallará primero que una capa a 0°C para una deformación horizontal recuperable dada y viceversa para una deformación horizontal máxima total.

Se puede determinar el gran efecto que tiene la temperatura de prueba sobre los valores de tiempo de vida por fatiga. Los valores de vida por fatiga disminuyen con un incremento en la temperatura de prueba.

### 2.1.3 COMO SE PRESENTA LA FATIGA EN LOS PAVIMENTOS.

La carretera es una estructura diseñada para soportar las cargas de tráfico, de forma similar a como se diseña una viga para soportar las cargas de un puente grúa.

En la realidad las cargas, representadas principalmente por las ruedas de los vehículos pesados, circulan por unas zonas determinadas de la calzada, denominadas huellas, y solo eventualmente abandonan estas zonas para realizar adelantamientos u otras maniobras esporádicas como las entradas y salidas de la propia carretera.

Parece obvio que las degradaciones situadas en esas zonas de huellas (Figura 2.3) son, en principio, debidas a las cargas del tráfico, mientras que las situadas fuera de esas zonas difícilmente pueden ser atribuibles a dichas cargas sino a otros problemas de la carretera en sí (Figura 2.4).



**Fig 2. 3** Fatiga en la zona de paso de cargas, la huella.



**Fig 2. 4** Fisuración longitudinal debida a causas no estructurales (defecto en la colocación de la mezcla asfáltica.)

Sí se puede dar el caso contrario, de que una degradación no debida a las cargas de tráfico aparezca en las huellas. En este caso, el efecto del tráfico hará que el deterioro de esa degradación sea mucho más rápido que si dicha degradación no estuviera situada en esa ubicación.

Otros casos de degradación de los pavimentos son, piel de cocodrilo, figuración en malla grande o en bloque, fisuras longitudinales en los bordes, fisuras longitudinales en la calzada, fisuras transversales, baches, etc.

**CAPÍTULO III**

**PROCEDIMIENTOS EXISTENTES**

**PARA ESTABLECER EL DAÑO**

**POR FATIGA EN LAS MEZCLAS**

**ASFÁLTICAS**

### **3.1. DEFORMACIONES PERMANENTES**

#### **Ahuellamiento por fallas en la subrasante**

Este tipo de ahuellamiento es causada por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores (base o sub-base) bajo la capa de asfalto. Si bien los materiales duros pueden reducir parcialmente este tipo de ahuellamiento, es considerado un problema estructural más que de los materiales en sí. La deformación ocurre en las capas inferiores más que en las capas de asfalto.

#### **Ahuellamiento por fallas en la capa de asfalto**

El tipo de ahuellamiento que más preocupa a los diseñadores de mezclas asfálticas es la deformación de las capas de asfalto. Esta deformación es el resultado de una mezcla de asfalto sin la suficiente resistencia para soportar cargas. Una mezcla débil va acumulando pequeñas, pero permanentes deformaciones con cada vehículo que pasa, y eventualmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla.

Los ahuellamientos son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes y una manera de incrementar la resistencia contra el deslizamiento de las mezclas no es sólo utilizar cemento asfáltico más duro, sino otro que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas. Así, cuando se aplique la carga, el cemento asfáltico actuará como una banda de goma y volverá a su posición original en lugar de deformarse.

El agrietamiento también puede presentarse como resultado de una combinación de los siguientes mecanismos:

- Agrietamiento inducido por el tránsito
- Agrietamiento por temperatura
- Agrietamiento por reflexión

### **Agrietamiento inducido por el tránsito**

Las cargas del tránsito inducen esfuerzos y deformaciones en las capas del pavimento. Dependiendo de la estructura del pavimento y las propiedades de las capas, los esfuerzos de tensión y cortantes y las deformaciones son inducidas en lugares específicos de las capas confinadas. La aplicación repetida de esos esfuerzos y deformaciones, por el paso continuo vehicular, inducirá agrietamientos por fatiga en esos puntos.

### **Agrietamiento por temperatura**

Cuando se presentan temperaturas muy bajas en la superficie del pavimento, provocaran esfuerzos de tensión y deformaciones en el pavimento, debido a la contracción térmica. Especialmente debajo el punto de transición de cristalización del asfalto, la relajación de los esfuerzos de tensión inducidos termalmente ocurre muy despacio. Consecuentemente los esfuerzos de tensión se incrementan cuando la vía se enfría, lo cual puede exceder la resistencia del asfalto.

En el asfalto, las grietas podrían aparecer y propagarse con los ciclos termales, estos esfuerzos de tensión inducidos pueden también combinarse con esfuerzos de tensión por el tránsito aumentando el agrietamiento. Las grietas

pueden ocurrir en la capa base confinada de cemento de un camino compuesto como resultado de los gradientes térmicos. Cuando la superficie de un camino está más caliente que la base, el gradiente térmico causara alabeo el cual será restringido por la capa estabilizada con cemento. Esto provocara un esfuerzo de tensión en la parte inferior de la capa estabilizada con cemento, lo que puede llevar al agrietamiento cuando se combina con los esfuerzos de tensión inducidos por el tránsito.

### **Agrietamiento por reflexión**

Los agrietamientos por reflexión ocurren si una capa de asfalto yace sobre una capa con grietas o juntas, lo cual muestra movimientos horizontales muy grandes debido a variaciones en la temperatura, o cuando existe o no muy poca transferencia de carga a través de las grietas o juntas.

Los agrietamientos por reflexión pueden ser además causados por deformaciones horizontales controladas por la temperatura de los materiales subyacentes. Estas deformaciones provocarán esfuerzos de tensión en la capa superior, llevando a grietas de reflexión, con y sin la presencia del tránsito.

Si la transferencia de cargas a través de las grietas o juntas es baja, resultando en un gran desplazamiento vertical relativo debido a las cargas generadas por el tránsito, provocará esfuerzos cortantes muy altos en la capa de asfalto alrededor del área de las juntas. Si los esfuerzos cortantes son mayores que la resistencia del asfalto o el número de repeticiones de cargas es suficiente para



causar fatiga, las grietas aparecerán en la parte superior de la capa de asfalto en la misma posición de las grietas o juntas de la capa subyacente.

## **3.2. DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES USUALES**

### **3.2.1. PRUEBAS UTILIZADAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN EL CONCRETO ASFÁLTICO**

El objetivo general de las pruebas en los materiales deben reproducir las condiciones del pavimento tan cercanamente como la práctica in situ, incluyendo el estado general de esfuerzos, la temperatura; la humedad y las condiciones generales de los materiales.

Existen seis tipos de pruebas utilizadas para caracterizar la respuesta a la deformación permanente de los materiales de pavimentos:

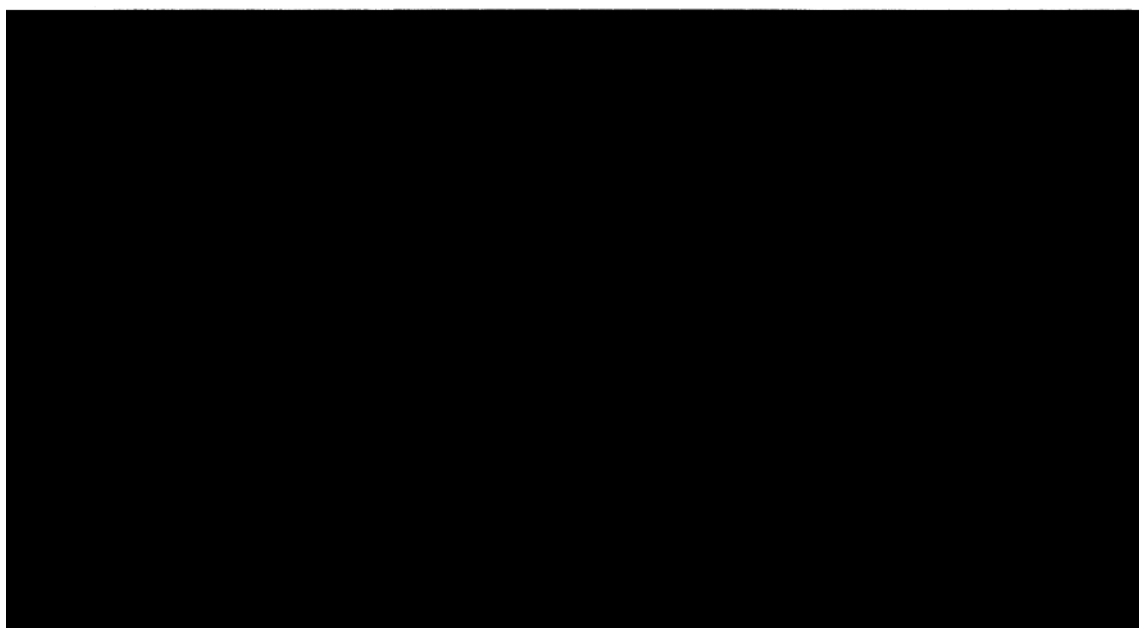
- Pruebas de esfuerzos uniaxiales
- Pruebas de esfuerzos triaxiales
- Pruebas diametrales
- Pruebas de simulación
- Pruebas cortantes
- Pruebas empíricas

#### **Pruebas de esfuerzos uniaxiales**

Los cuatro tipos de pruebas que se consideran son los de fluencia, deformación permanente bajo carga repetida, módulo dinámico y resistencia. Uno

de los mayores problemas que presentan este tipo de pruebas es su cuestionable habilidad para predecir el comportamiento debido a la cantidad de carga y temperatura que puede ser utilizada para las pruebas. Se cree que la temperatura y el esfuerzo aplicado en el laboratorio deben ser similares a aquellos a los cuales las mezclas están sujetas en el campo. La carga y/o temperatura debe ser disminuida significativamente de la esperada en el campo, de lo contrario, estas pruebas no pueden ser conducidas sin falla inmediata de las probetas. La prueba es fácil y bajo costo realizarse cuando se utiliza carga estática, sin embargo, la complejidad y el costo se incrementan considerablemente cuando se requieren cargas dinámicas.

La tabla 3.1 muestra los métodos de pruebas uniaxiales empleados así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización

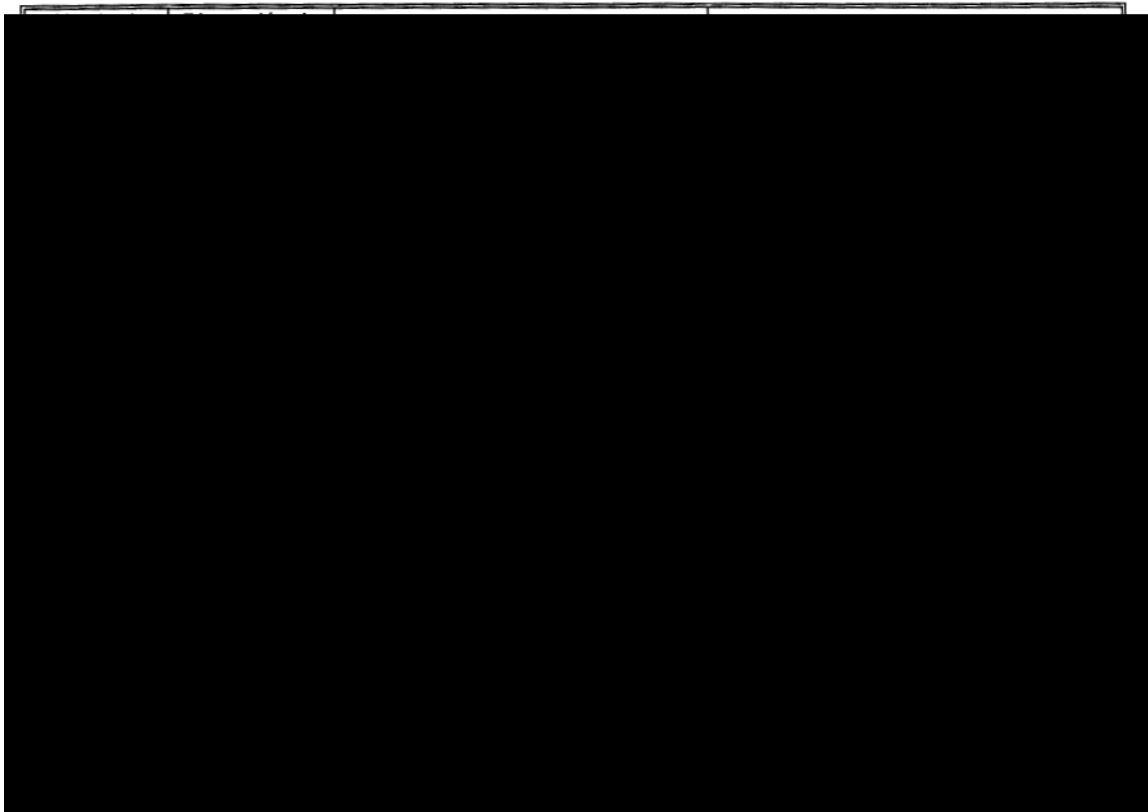


**Tabla 3. 1** Evaluación comparativa de métodos de pruebas uniaxiales

## Pruebas de esfuerzos triaxiales

Los cuatro tipos de pruebas que se consideran son las de fluencia, deformación permanente bajo carga repetida, módulo dinámico y resistencia. La diferencia entre este tipo y las pruebas uniaxiales es que las triaxiales incluyen presión de confinamiento. Al aplicar un esfuerzo de confinamiento se permite duplicar una o más presiones y temperaturas de una manera más exacta sin que el espécimen de prueba falle prematuramente.

La tabla 3.2 muestra los métodos de pruebas triaxiales empleados, así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización

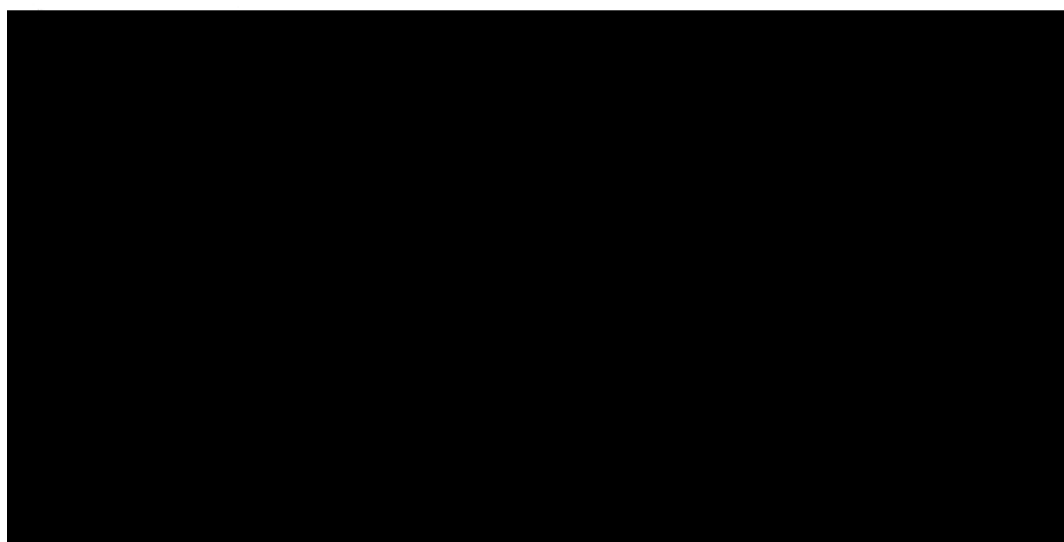


**Tabla 3. 2** Evaluación comparativa de métodos de pruebas triaxiales

## Pruebas diametrales

Las pruebas diametrales incluyen las de fluencia, deformación permanente bajo carga repetida, módulo dinámico y resistencia. La prueba diametral no parece ser una prueba conveniente para la evaluación de la deformación permanente. Es un tipo de prueba de tensión que probablemente está más afectada por los cambios en las propiedades del ligante que lo que se esperaría ver en el campo. Ya que es una prueba de tensión, no es razonable que sea una buena pronosticadora de las roderas. Las pruebas de laboratorio muestran que los resultados de pruebas de resistencia a la tensión indirecta y las pruebas de carga repetida no corresponden al comportamiento observado. Aunque estas pruebas podrían tener alguna aplicación en la indicación del comportamiento, otras pruebas probablemente son más exitosas.

La tabla 3.3 muestra los métodos de pruebas diametrales empleados, así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización

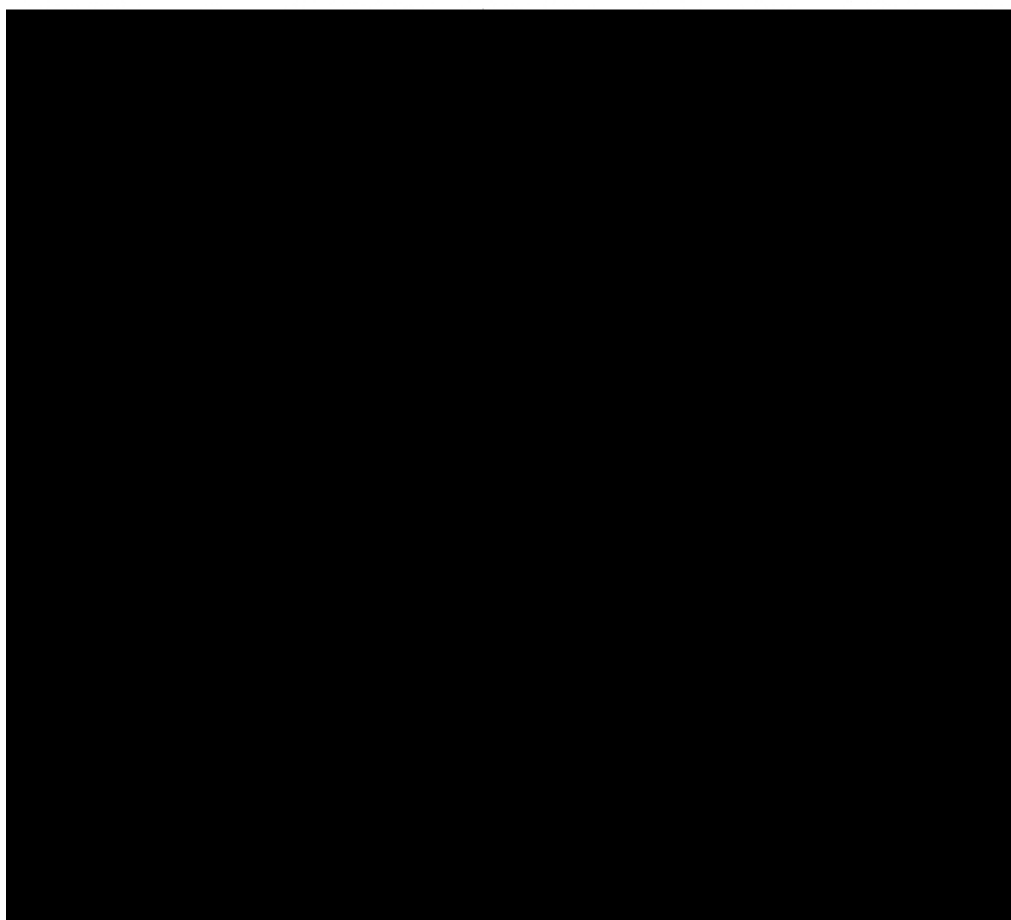


**Tabla 3. 3** Evaluación comparativa de métodos de pruebas diametrales

## Pruebas de simulación

Las pruebas de simulación incluyen principalmente las pruebas de rodada. El analizador de pavimentos asfálticos (APA), el dispositivo de rodada de Hamburgo (HWTD) y el probador de roderas francés (FRT) parecen proveer resultados razonables y tienen alguna información correlacionada con el comportamiento. Las pruebas de simulación (pruebas de rodada) parecen ser el único tipo de pruebas que están listas para una adopción inmediata. Estas pruebas no son la respuesta final pero ellas pueden ayudar a la industria de fabricación de pavimentos hasta que esté disponible una mejor respuesta.

La tabla 3.4 muestra los métodos de pruebas de simulación empleados, así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización



**Tabla 3. 4** Evaluación comparativa de métodos de pruebas de simulación

## Pruebas cortantes

Este tipo de pruebas incluye la prueba cortante de Superpave (SST). Las pruebas SS7 son muy complicadas, caras y actualmente no tienen un modelo aceptable para predecir el comportamiento. Esta prueba no es razonable para pruebas de control de calidad. Actualmente ninguna de estas pruebas está lo suficientemente concluidas para una adopción inmediata.

La tabla 3.5 muestra los métodos de pruebas cortantes empleados, así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización

Método de prueba	Dimensión de la probeta	Ventajas	Desventajas
Prueba de curva de frecuencia SST - Módulo dinámico cortante	15 cm de diámetro x 5 cm de altura y otros	La deformación cortante aplicada simula el efecto del tránsito en caminos. Un procedimiento AASHTO estandarizado está disponible. El espécimen es preparado con probetas del compactador giratorio de Superpave (SGC). La curva maestra puede ser dibujada para diferentes temperaturas y frecuencias. Pruebas no destructivas.	El equipo es extremadamente caro y raramente se encuentra disponible La prueba es compleja y difícil de realizar, usualmente necesita entrenamiento especial Las probetas necesitan ser cortadas y pegadas antes de las pruebas
Cortante repetido SST con altura constante	15 cm de diámetro x 5 cm de altura y otros	La deformación cortante aplicada simula el efecto del tránsito en caminos. Un procedimiento AASHTO está disponible. El espécimen es preparado con probetas del compactador giratorio de Superpave (SGC).	El equipo es extremadamente caro y raramente se encuentra disponible. La prueba es compleja y difícil de realizar, usualmente necesita entrenamiento especial. Las probetas necesitan ser cortadas y pegadas antes de las pruebas. Los resultados de las pruebas tienen un alto coeficiente de variación. Se necesitan mas de tres duplicados.
Resistencia triaxial cortante	15 cm de diámetro x 5 cm de altura y otros	Tiempo de prueba corto.	Mucho menos utilizada. Requerimientos de especímenes confinados adicionan la complejidad.

**Tabla 3. 5** Evaluación comparativa de métodos de pruebas cortante

## Pruebas empíricas

Las pruebas empíricas incluyen el método de estabilidad y flujo Marshall, estabilidad de Hveem, y el indicador de presión lateral. Las pruebas de Marshall y Hveem han sido utilizadas por años con un éxito muy limitado. La GTM ha estado

limitada por varios años. Y aunque tiene potencial, no existe suficiente información disponible para una adopción inmediata. El indicador de presión lateral (LPI) es una prueba nueva que muestra alguna promesa pero requiere más investigación.

La tabla 3.6 muestra los métodos de pruebas empíricas empleados, así como las ventajas y desventajas que presenta su utilización

Método de prueba	Dimensión de la probeta	Ventajas	Desventajas
Marshall	10 cm de diámetro x 6.25 cm de altura ó 15 cm de diámetro x 9.375 cm de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amplia difusión, bien conocido, estandarizado para diseño de mezclas</li> <li>Procedimiento de prueba estandarizado</li> <li>Más fácil de implementar y tiempo de prueba corto</li> <li>El equipo disponible en todos los laboratorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es posible clasificar correctamente las mezclas para deformación permanente</li> <li>Poca información para indicar si está relacionado con el comportamiento</li> </ul>
Hveem	10 cm de diámetro x 6.25 cm de altura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollado con una buena base filosófica</li> <li>Tiempo corto de prueba</li> <li>Carga triaxial aplicada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha utilizado tan ampliamente como la Marshall en el pasado</li> <li>Requiere compactador por amasado de California</li> <li>No es posible clasificar correctamente las mezclas para deformación permanente</li> </ul>
GTM	Mezcla asfáltica en caliente suelta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simula la acción de los rodillos durante la compactación</li> <li>Los parámetros son generados durante la compactación</li> <li>Criterio disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El equipo no está ampliamente disponible</li> <li>No es posible clasificar correctamente las mezclas para deformación permanente</li> </ul>
Indicador de presión lateral	Mezcla asfáltica en caliente suelta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prueba realizada durante la compactación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problemas para interpretar los resultados</li> <li>No hay mucha información disponible</li> </ul>

**Tabla 3. 6** Evaluación comparativa de métodos de pruebas empíricas

### 3.2.2 MODELOS CONSTITUTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FATIGA EN EL CONCRETO ASFÁLTICO

Las características de las mezclas asfálticas usualmente son expresadas como relaciones entre el esfuerzo o deformación inicial y el número de repeticiones para la falla, determinadas mediante el uso de pruebas de flexión repetida, tensión directa o

diametral desarrolladas a distintos niveles de esfuerzos o deformaciones. El comportamiento por fatiga de una mezcla específica puede ser caracterizada por la pendiente y nivel relativo de los esfuerzos o deformaciones contra el número de aplicaciones de carga necesarios para la falla, hay diferentes propuestas para obtener la falla por fatiga, algunas de las cuales mencionaremos a continuación:

- El modelo de (Monismith et al. 1985):

$$N_f = a \left( \frac{1}{\varepsilon_0} \right)^b * \left( \frac{1}{S_0} \right)^c$$

Donde:

$N_f$  = Vida de diseño por fatiga

$\varepsilon_0$  = Deformación a la tensión

$S_0$  = Rigidez inicial de la mezcla

a, b, c = Coeficientes determinados experimentalmente

- El método fenomenológico de regresión es un método muy común para analizar los materiales de carreteras (Little et al., 1984). La capa superficial es caracterizada por fatiga utilizando la siguiente relación:

$$N_f = K_1 \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{K_2}$$

Donde:

$N_f$  = Número de repeticiones o aplicaciones de carga para que ocurra la falla

$\varepsilon_t$  = Deformación a la tensión inducida

$K_1, K_2$  = Constantes de regresión



- El modelo propuesto por Shell (1978) establece la vida por fatiga en función del nivel de deformaciones, contenido de asfalto y rigidez de la mezcla:

$$N_f = \left[ \frac{\varepsilon_t}{(0.856V_b + 1.08)S_{mix}^{-0.36}} \right]$$

Donde:

$N_f$  = Número de repeticiones o aplicaciones de carga para que ocurra la falla

$\varepsilon_t$  = Deformación a la tensión

$S_{mix}$  = Rigidez por flexión de la mezcla

$V_b$  = Contenido de asfalto por volumen

- El Instituto del Asfalto (1981) propuso un modelo ligeramente diferente para predecir la vida por fatiga del concreto asfáltico, dado por la siguiente ecuación:

$$N_f = S_f * 10^{[4.84(VFB - 0.69)]} * 0.004325 * (\varepsilon_t)^{-3.291} (S_{mix})^{-0.845}$$

Donde:

$N_f$  = Vida por fatiga

$S_f$  = Factor para convertir los resultados de las pruebas de laboratorio a resultados esperados en campo (el factor recomendado es 18.4 para un 10% de área agrietada)

$\varepsilon_t$  = Deformación a la tensión aplicada

VFB = Porcentaje de vacíos llenos con asfalto

$S_{mix}$  = Rigidez por flexión de la mezcla (psi)

- En el proyecto A-003A del programa SHRP, Tayebali (1994) utilizo una relación en información sobre el tiempo de vida por fatiga obtenida en laboratorio. Este depende de la deformación y es utilizado para sustituir los análisis:

$$N_f = 2.738 * 10^5 \exp^{0.07VFB} (\varepsilon_0)^{-3.624} (S_0'')^{-2.720}$$

Donde:

$N_f$  = Vida por fatiga

$\varepsilon_0$  = Deformación inicial, en in/in

$S_0''$  = Pérdida de rigidez inicial, en psi

VFB = Porcentaje de vacíos llenos con asfalto

- Los métodos para desarrollar modelos empírico-mecanicistas basados en el agrietamiento por fatiga utilizan modelos desarrollados a través de pruebas de laboratorio empleando el ensaye de tipo viga. La información de pruebas de fatiga en laboratorio típicamente se expresa de la siguiente manera:

$$N_f = K_1 (e)^{-K_2} (E_{ac})^{-K_3}$$

Donde:

$N_f$  = Número de aplicaciones de carga para que ocurra la falla

$e$  = Deformación a tensión repetida

$E_{ac}$  = Módulo dinámico de elasticidad del concreto asfáltico (psi)

$K_1, K_2, K_3$  = Constantes que dependen de las propiedades del material

- Basados en los resultados de extensas pruebas de laboratorio y correlaciones con observaciones de campo, el Instituto del Asfalto (1982) estableció el siguiente modelo para pavimentos asfálticos que relaciona el número de repeticiones de carga para que ocurra la falla ( $N_f$ ) a la deformación horizontal a tensión ( $e_t$ ) en la parte superior de la capa de concreto asfáltico:

$$N_f = 18.4 * (10^M) * 0.004325 * (e_t)^{-3.291} (E_{ac})^{-0.854}$$

Donde:

$E_{ac}$  = Módulo dinámico de elasticidad del concreto asfáltico (psi)

$$M = 4.84 * \left[ \frac{V_b}{V_v + V_b} - 0.69 \right]$$

$V_v$  = Porcentaje de volumen de vacíos

$V_b$  = Porcentaje de volumen de asfalto

$e_t$  = Magnitud de la deformación a tensión en la parte superior de la capa de asfalto

$K_1, K_2, K_3$  = Constantes que dependen de las propiedades del material

- En base al criterio del centro de investigaciones de carreteras de Bélgica para la obtención de la deformación total plantea la siguiente fórmula

$$\overline{\varepsilon_T} = (1.6 \times 10^{-3}) * N_t^{-0.21}$$

$\varepsilon_T$  = Deformación total

$1.6 \times 10^{-3}$  = constante

$N_t$  = número de aplicaciones de carga

- Criterio basado en la resistencia a la tracción indirecta

Los resultados de las pruebas de fatiga en los ensayos de tracción indirecta realizados en condiciones de tensión controlada, es corriente expresarlo en función de los siguientes parámetros:

Tensión principal de tracción vs número de repeticiones

$$\sigma_0 = \frac{2F}{\pi * D * H}$$

F = Fuerza aplicada

D = Diámetro de la probeta

H = Altura de la probeta

Diferencia de tensiones principales vs número de repeticiones

$$\sigma = \sigma_t - \sigma_c = \sigma_o - (-3\sigma_o) = 4\sigma_o$$

Esta relación fue obtenida de un estudio en el cual las losas de asfalto fueron ensayadas en una máquina de simulación bajo un rodillo, y se concluyó que los patrones de grietas observados eran muy similares a aquellos definidos en la práctica como agrietamiento de piel de cocodrilo.

**CAPÍTULO IV**

**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO**

**REALIZADO**

#### 4.1. IMPORTANCIA.

Éste trabajo se basa en la realización de ensayos de laboratorios, utilizando muestras de los 5 proyectos que se citan a continuación, los cuales tienen diferentes contenido asfáltico.

1. Proyecto Troncal Amazónica. (Sector Napo).
2. Proyecto Troncal Amazónica (Sector Sucumbíos).
3. Proyecto Vial en Quito (Nueva Vía Oriental).
4. Proyecto Vial en Quito (Vía a Calderón).
5. Proyecto Vial en Ambato (Vía Mercado).

El número total de muestras utilizadas fue de 70 briquetas, las cuales se distribuyen según muestra la Tabla No. 4.1, además se detallan los porcentajes de contenido de asfalto y fechas de fabricación.

**Tabla 4. 1** Número total de muestras (Briquetas)

<b>BRIQUETAS</b>					
<b>Nº</b>	<b>PROYECTO SECTOR</b>	<b>MARCA</b>	<b>FECHA día/mes/año</b>	<b>% Asfalto %</b>	<b>FÓRMULA MAESTRA %</b>
1	<b>PROYECTO TRONCAL AMAZÓNICA (SECTOR NAPO) PTASN</b>	4-15	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
2		4-22	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
3		4-16	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
4		4-10	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
5		4-14	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
6		4-18	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
7		4-25	20/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
8		4 <sub>5</sub> -27	20/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
9		4 <sub>5</sub> .	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
10		4 <sub>7</sub> -11	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
11		4 <sub>6</sub> -20	15/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)

12		4 <sub>6</sub> -21	16/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
13		4 <sub>6</sub> -18	17/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
14		4 <sub>6</sub> -25	18/05/2008	6,5	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
15	<b>PROYECTO VIAL EN QUITO (NUEVA VÍA ORIENTAL) PVQNO</b>	18	26/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
16		19	26/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
17		17	27/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
18		15	14/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
19		20	27/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
20		16	27/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
21		21	27/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
22		12	17/05/008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
23		14	14/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
24		13	12/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
25		22	13/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
26		25	14/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
27		29	15/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
28	30	16/04/2008	6	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)	
29	<b>PROYECTO TRONCAL AMAZÓNICA (SECTOR SUCUMBIOS) PTASS</b>	4-31-05	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
30		4-03	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
31		4-30	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
32		4-26	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
33		4 <sub>5</sub> -22	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
34		4-21	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
35		4 <sub>5</sub> -19	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
36		4-28	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
37		4-27	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
38		4 <sub>7</sub> -10	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
39		4 <sub>6</sub> -29	20/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
40		7 <sub>6</sub> -28	21/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
41		4 <sub>7</sub> -9	22/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
42		7 <sub>6</sub> -23	23/05/2008	6	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
43	<b>PROYECTO VIAL EN QUITO (VÍA CALDERÓN) PVQVC</b>	10	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
44		3	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
45		6	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
46		1	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
47		9	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
48		11	10/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
49		8	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
50		7	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
51		2	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
52		5	20/05/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
53		4	25/04/2008	5	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)

54	<b>PROYECTO VIAL EN AMBATO (VÍA MERCADO) PVAVM</b>	A13	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
55		A10	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
56		A6	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
57		A5	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
58		A11	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
59		A4	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
60		A1	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
61		A3	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
62		A8	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
63		A9	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
64		A7	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
65		A12	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
66		A14	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
67		A2	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
68		A15	29/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
69		A16	30/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)
70		A17	31/03/2008	5	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)

**PTASN** = Proyecto troncal amazónica (sector Napo)

**PVQNO** = Proyecto vial en Quito (Nueva vía oriental)

**PTASS** = Proyecto troncal amazónica (sector Sucumbíos)

**PVQVC** = Proyecto vial en Quito (vía calderón)

**PVAVM** = Proyecto vial Ambato (vía mercado)

## 4.2 ENSAYOS REALIZADOS

Los ensayos que se realizaron en cada uno de los proyectos ya mencionados, para determinar las características de los mismos, y la fatiga que se da en las muestras asfálticas son los siguientes:

- Ensayo de cántabro (Máquina de los Ángeles).
- Ensayo estabilidad marshall
- Ensayo de compresión simple, y compresión confinada
- Ensayo de tracción indirecta



#### 4.2.1 ENSAYO DE CÁNTABRO (MÁQUINA DE LOS ÁNGELES).

En la realización de éste ensayo de laboratorio, se utilizó muestras de: briquetas secas, briquetas sumergidas en agua durante 2 días y de 5 días, con las cuales se hizo el ensayo de cántabro (anexo I). Durante el ensayo, la probeta de mezcla se va erosionando y desgastando, determinándose al final del ensayo la pérdida de peso de la probeta, pérdida por desgaste al cántabro, expresado en tanto por ciento del peso inicial. Con los resultados obtenidos tabla 4.3, se elaboró una tabla de comparación del desgaste que se produjo, peso inicial, peso final, peso perdido, y a su vez se realizó cuadros comparativos con el porcentaje de asfalto de las muestras.

Para la realización de este ensayo se escogió una muestra de cada proyecto las cuales están descritas en la Tabla N° 4.2, se hizo el ensayo para briquetas secas y para briquetas sumergidas en agua por dos días y también para briquetas sumergidas por cinco días. Los registros del ensayo se indican en el anexo I

**Tabla 4. 2** Briquetas - Ensayo de cántabro

<b>Proyecto</b>	<b>MARCA DE BRIQUETAS</b>	<b>% Asfalto %</b>	<b>TIPO</b>
PTASN	4-22	6,5	Seca
PVQNO	19	6	Seca
PTASS	4-03	6	Seca
PVQVC	3	5	Seca
PVAVM	A12	5	Seca
PTASN	4-15	6,5	SUMERGIDA-2 días
PVQNO	18	6	SUMERGIDA-2 días
PTASS	4-31-05	6	SUMERGIDA-2 días
PVQVC	10	5	SUMERGIDA-2 días
PVAVM	A2	5	SUMERGIDA-2 días
PTASN	4-16	6,5	SUMERGIDA-5 días
PVQNO	17	6	SUMERGIDA-5 días
PTASS	4-30	6	SUMERGIDA-5 días
PVQVC	6	5	SUMERGIDA-5 días
PVAVM	A15	5	SUMERGIDA-5 días

## RESULTADOS ENSAYO CÁNTABRO

Tabla 4. 3 Resultados ensayo de cántabro

ENSAYO DE CÁNTABRO												
MÁQUINA DE LOS ANGELES												
Proyecto	MARCA DE BRIQUETAS	% Asfalto %	TIPO	ALTURA h cm	DIAMETRO D cm	AREA A cm <sup>2</sup>	VOLUMEN V cm <sup>3</sup>	PESO <sub>aire</sub> W G	PESO <sub>sumer</sub> W1 G	PESO <sub>des.ensay</sub> W2 G	PESO <sub>per</sub> W3 G	%PESO Perdido %
PTASN	4-22	6,5	Seca	7,64	10,32	83,65	639,06	1,477	-	1,326	0,151	10,22
PVQNO	19	6	Seca	7,14	10,30	83,32	594,93	1,256	-	1,231	0,025	1,99
PTASS	4-03	6	Seca	7,14	10,34	83,97	599,56	1,366	-	1,222	0,144	10,54
PVQVC	3	5	Seca	6,56	10,26	82,68	542,36	1,179	-	1,150	0,029	2,46
PVAVM	A12	5	Seca	7,91	10,34	83,97	664,21	1,330	-	1,141	0,189	14,21
PTASN	4-15	6,5	Sumergida-2 días	7,10	10,38	84,62	600,82	1,370	1,378	1,288	0,090	6,53
PVQNO	18	6	Sumergida-2 días	7,22	10,30	83,32	601,59	1,256	1,261	1,232	0,029	2,30
PTASS	4-31-05	6	Sumergida-2 días	6,78	10,38	84,62	573,74	1,324	1,332	1,221	0,111	8,33
PVQVC	10	5	Sumergida-2 días	6,40	10,26	82,68	529,13	1,079	1,087	1,031	0,056	5,15
PVAVM	A2	5	Sumergida-2 días	8,71	10,18	81,39	708,93	1,390	1,399	1,215	0,184	13,15
PTASN	4-16	6,5	Sumergida-5 días	6,78	10,30	83,32	564,93	1,328	1,346	1,028	0,318	23,63
PVQNO	17	6	Sumergida-5 días	7,00	10,18	81,39	569,75	1,180	1,206	1,068	0,138	11,44
PTASS	4-30	6	Sumergida-5 días	6,32	10,36	84,30	532,75	1,167	1,189	0,922	0,267	22,46
PVQVC	6	5	Sumergida-5 días	5,84	10,28	83,00	484,72	0,998	1,012	0,968	0,044	4,35
PVAVM	A15	5	Sumergida-5 días	6,08	10,35	84,13	511,53	1,016	1,032	0,851	0,181	17,54

Fuente: Autor

<b>ENSAYO DE CÁNTABRO</b>				
<b>MÁQUINA DE LOS ANGELES</b>				
<b>Proyecto</b>	<b>MARCA DE BRIQUETAS</b>	<b>% Asfalto %</b>	<b>TIPO</b>	<b>%PESO Perdido %</b>
PTASN	4-22	6,5	Seca	10,22
PTASN	4-15	6,5	Sumergida-2 días	6,53
PTASN	4-16	6,5	Sumergida-5 días	23,63
PVQNO	19	6	Seca	1,99
PVQNO	18	6	Sumergida-2 días	2,30
PVQNO	17	6	Sumergida-5 días	11,44
PTASS	4-03	6	Seca	10,54
PTASS	4-31-05	6	Sumergida-2 días	8,33
PTASS	4-30	6	Sumergida-5 días	22,46
PVQVC	3	5	Seca	2,46
PVQVC	10	5	Sumergida-2 días	5,15
PVQVC	6	5	Sumergida-5 días	4,35
PVAVM	A12	5	Seca	14,21
PVAVM	A2	5	Sumergida-2 días	13,15
PVAVM	A15	5	Sumergida-5 días	17,54

#### **4.2.2 ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL.**

Para este ensayo se tomó tres muestras de cada uno de los proyectos ya mencionados, los cuales contienen diferente contenido asfáltico, a continuación se realizó el ensayo de estabilidad marshall (Anexo IV); a partir de los resultados de este ensayo, tabla 4.5, se elaboró tablas de referencia para establecer la fatiga de cada muestra, ya que la información proporcionada por éstas debe constar de lectura marshall, % de asfalto óptimo, estabilidad, densidad bulk. Posterior a esto se realizó cuadros comparativos con sus respectivas gráficas, lo cual facilitará el análisis de resultados.

La información para la prueba se describe en la Tabla N° 4.4. Los registros del ensayo se indican en el anexo IV.

**Tabla 4. 4** Briquetas - Ensayo estabilidad marshall

Proyecto	Briqueta	% Asfalto
PTASN	4 <sub>5</sub> -27	6,5*
PTASN	4 <sub>7</sub> -11	6,5*
PTASN	4 <sub>6</sub> -20	6,5*

Proyecto	Briqueta	% Asfalto
PVQVC	7	5*
PVQVC	4	5*
PVQVC	2	5*

Proyecto	Briqueta	% Asfalto
PVQNO	12	6
PVQNO	13	6
PVQNO	14	6

Proyecto	Briqueta	% Asfalto
PTASS	4-28	6,5
PTASS	4-27	6,5
PTASS	47-10	6,5

Proyecto	Briqueta	% Asfalto
PVAUM	A9	5
PVAUM	A7	5
PVAUM	A8	5

## RESULTADOS ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL

Tabla 4. 5 Resultados ensayo estabilidad marshall

Muestra #	Briqueta	% Asfalto óptimo	Estabilidad	Dens. BULK	BULK prom.
				g/cm3	g/cm3
PTASN	4 <sub>5</sub> -27	6,5	1619,940	1,987	2,024
PTASN	4 <sub>7</sub> -11		860,221	2,029	
PTASN	4 <sub>6</sub> -20		1070,703	2,055	
PVQVC	7	5	889,887	2,128	2,142
PVQVC	4		1205,235	2,395	
PVQVC	2		712,774	1,904	
PVQNO	12	6	1343,470	2,120	2,102
PVQNO	13		1115,797	2,103	
PVQNO	14		1079,894	2,084	
PTASS	4-28	6	1220,355	2,310	2,399
PTASS	4-27		1390,988	2,426	
PTASS	4 <sub>7</sub> -10		1209,555	2,460	
PVAVM	A9	5	470,863	2,308	2,164
PVAVM	A7		693,048	2,085	
PVAVM	A8		461,870	2,099	

Fuente: Autor

### 4.2.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Este ensayo consta de dos partes:

#### Primera parte (Compresión simple)

Se tomó dos muestras de cada proyecto: una seca y otra sumergida cinco días en agua, se procederá con el ensayo de compresión. Los registros del ensayo se indican en el anexo II, el principal objetivo de este ensayo es determinar la carga y la tensión a la cual la briqueta se rompe, por ello se tomarán datos de: altura, diámetro, área, peso sumergido.

Para la realización de este ensayo de compresión simple se escogió dos muestras de cada proyecto las cuales están descritas en la Tabla N° 4.6, se realiza el ensayo para briquetas secas y para briquetas sumergidas por cinco días resultados tabla 4.7, de lo cual se obtuvo los siguientes resultados.

**Tabla 4. 6** Briquetas - Ensayo de compresión

MUESTRAS SUMERGIDAS			MUESTRAS SECAS		
Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto
PTASN	4-10	6,5	PTASN	4-18	6,5
PVQNO	15	6	PVQNO	16	6
PTASS	4-26	6	PTASS	4-21	6
PVQVC	1	5	PVQVC	11	5

MUESTRAS SECAS		
Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto
PVAVM	A13	5
PVAVM	A10	5
PVAVM	A5	5

## RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Fuente: Autor

Tabla 4. 7 Resultados ensayo compresión simple

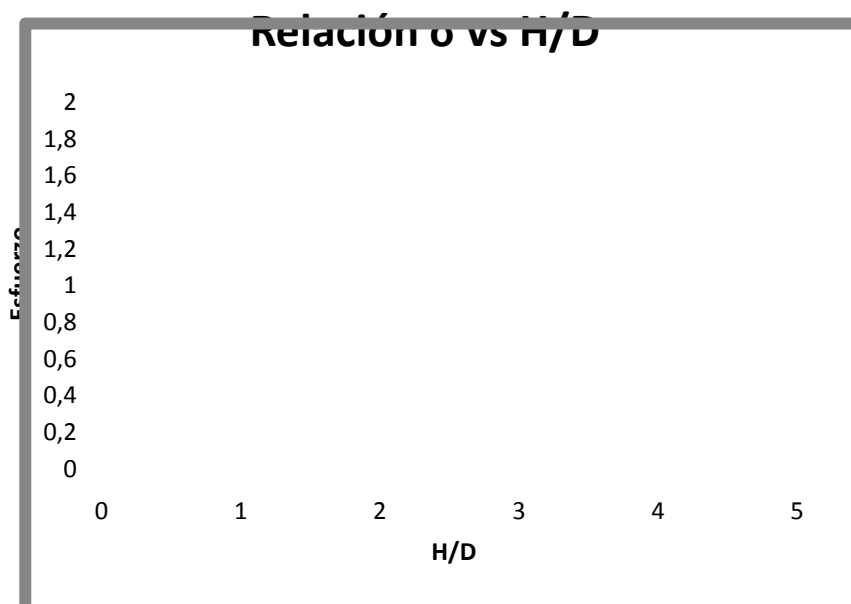
ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE										
MUESTRAS SUMERGIDAS										
Nº	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>sumer</sub>	CARGA	Tensión	Relación altura diámetro H/D	Tensión corregida
			H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	σ Kg/cm <sup>2</sup>		σ Kg/cm <sup>2</sup>
PTASN	4-10	6,5	7,56	10,34	83,97	1,479	5,357	63,790	0,73	52,946
PVQNO	15	6	6,96	10,30	83,32	1,225	5,708	68,500	0,68	56,855
PTASS	4-26	6	7,30	10,30	83,32	1,425	6,222	74,670	0,71	61,976
PVQVC	1	5	6,10	10,26	82,68	1,068	4,521	54,680	0,59	45,384

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE										
MUESTRAS SECAS										
Nº	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>seco</sub>	CARGA	Tensión	Relación altura diámetro H/D	Tensión c
			H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	σ Kg/cm <sup>2</sup>		σ <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
PTASN	4-18	6,5	6,14	10,34	83,97	1,173	6,112	72,790	0,594	45,858
PVQNO	16	6	7,32	10,22	82,03	1,289	5,618	68,480	0,716	43,142
PTASS	4-21	6	6,30	10,30	83,32	1,226	7,348	88,180	0,612	55,553
PVQVC	11	5	7,16	10,28	83,00	1,221	4,648	56,010	0,696	35,286

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE										
MUESTRAS SECAS										
Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>seco</sub>	CARGA	Tensión	Relación altura diámetro H/D	Tensión c
			H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	P Kg/cm <sup>2</sup>		σ <sub>c</sub> Kg/cm <sup>2</sup>
PVAVM	A13	5	5,72	10,33	83,81	0,978	4,046	48,280	0,554	28,002
PVAVM	A10	5	5,22	10,37	84,46	0,906	6,137	72,670	0,503	42,149
PVAVM	A5	5	10,00	10,10	80,12	1,681	5,364	68,300	0,990	38,248

Como se sabe la tensión de rotura de un material depende de la altura de la probeta que está sujeta a cargas. En el caso de hormigones la forma general de influencia de la altura de la probeta está indicada en la fig.4.1, para valores de altura superiores a 0,5 veces el diámetro la tensión de rotura baja muy rápidamente, por lo que ha sido necesario corregir los valores de rotura.

**Fig 4. 1**Relación  $\sigma$  vs H/D



### **Segunda parte (Compresión confinada)**

Se tomó diez muestras con las que se realizó el ensayo de compresión confinada, los registros del ensayo se indican en el anexo II, con estos resultados se obtiene las deformaciones totales, permanente, y recuperable, con la aplicación de un ciclo de carga.



La información para la prueba se describe en la Tabla N° 4.8, se realizó el ensayo de la siguiente forma:

- Se tomar el peso, área, altura, de las briquetas.
- Se pone la briqueta en el molde y en la parte superior se coloca una placa para que la carga sea uniforme.
- Se someter a compresión confinada en un molde metálico, las briquetas aplicando una carga de  $7 \text{ Kg/cm}^2$ , que corresponde a la presión de inflado de un vehículo pesado.
- Se mide la deformación que se produjo al aplicar esta carga.
- Después se retira la carga y se mide en el deformímetro la deformación permanente que se da después de aplicar la carga.

Los resultados son los siguientes:

## RESULTADOS ENSAYO DE COMPRESIÓN CONFINADA

Tabla 4. 8 Compresión confinada deformaciones

### COMPRESIÓN CONFINADA (deformaciones)

Nº	PROYECTO	MARCA DE BRIQUETAS	Asfalto %	ALTURA h cm	DIAMETRO D cm	AREA A cm <sup>2</sup>	CARGA P Kg/cm <sup>2</sup>	CARGA P Kg	Def.Perma $\epsilon_p$ mm	Media X	Def.Recupe $\epsilon_r$ mm	Def.total $\epsilon_T$ mm
1	Troncal Amazónica (Sector Napo, Sucumbios)	4-6-21	6,5	7,20	10,28	83,00	7,00	581,00	0,048	0,047	0,521	0,569
2		7-6-28	6,5	6,94	10,34	83,97	7,00	587,80	0,064		0,660	0,724
3		4-6-18	6,5	7,18	10,28	83,00	7,00	581,00	0,046		0,457	0,503
4		4-7-9	6	6,89	10,26	82,68	7,00	578,74	0,058	0,054	0,610	0,668
5		7-6-23	6	7,90	10,34	83,97	7,00	587,80	0,041		0,483	0,523
6		4-6-25	6	7,10	10,38	84,62	7,00	592,36	0,051		0,559	0,610
7	Vías en Quito	4-19	6	7,25	10,30	83,32	7,00	583,26	0,046		0,508	0,554
8	(Nueva vía Oriental, vía Calderon)	4-25	6	7,28	10,38	84,62	7,00	592,36	0,043	0,533	0,577	
9		4-29	6	6,91	10,26	82,68	7,00	578,74	0,056	0,635	0,691	
10		4-30	6	8,87	10,30	83,32	7,00	583,26	0,051	0,559	0,610	

Fuente: Autor

#### 4.2.4 ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA.

Se tomó dos muestras de cada proyecto: una seca y otra sumergida cinco días en agua, se procedió con el ensayo de tracción indirecta, Los registros del ensayo se indican en el anexo III, el principal objetivo de este ensayo es determinar la carga y la tensión a la cual la briqueta se rompe, por ello se tomarán datos de: altura, diámetro, área, peso sumergido.

La información para la prueba se describe en la Tabla N° 4.9, se hizo el ensayo para briquetas secas y para briquetas sumergidas por cinco días; los resultados que se obtuvo se encuentran expresados en la tabla 4.10.

**Tabla 4. 9** Briquetas para el ensayo de tracción indirecta

MUESTRAS SUMERGIDAS			MUESTRAS SECAS		
Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto
PTASN	4-14	6,5	PTASN	4-25	6,5
PVQNO	20	6	PVQNO	21	6
PTASS	4 <sub>5</sub> -22	6	PTASS	4 <sub>5</sub> -19	6
PVQVC	9	5	PVQVC	8	5

MUESTRAS SECAS		
Proyecto	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto
PVAVM	A4	5
PVAVM	A1	5
PVAVM	A3	5

## RESULTADOS ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Tabla 4. 10 Resultados ensayo de tracción indirecta

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA								
MUESTRAS SUMERGIDAS								
Nº	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>sumer</sub>	CARGA	TENSIÓN
		H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	P Kg/cm <sup>2</sup>	
PTASN	4-14	6,5	6,48	10,31	83,48	1,276	0,980	9,340
PVQNO	20	6	7,10	10,26	82,68	1,244	1,002	8,760
PTASS	4 <sub>5</sub> -22	6	6,68	10,32	83,65	1,300	1,152	10,640
PVQVC	9	5	6,22	10,20	81,71	1,027	0,895	8,980

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA								
MUESTRAS SECAS								
Nº	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>seco</sub>	CARGA	TENSIÓN
		H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	P Kg/cm <sup>2</sup>	
PTASN	4-25	6,5	7,18	10,33	83,81	1,378	1,185	10,170
PVQNO	21	6	7,40	10,28	83,00	1,258	1,280	10,710
PTASS	4 <sub>5</sub> -19	6	7,44	10,32	83,65	1,443	1,390	11,530
PVQVC	8	5	6,81	10,16	81,07	1,169	1,003	9,230

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA								
MUESTRAS SECAS								
Nº	MARCA DE BRIQUETA	% Asfalto	ALTURA	DIAMETRO	AREA	PESO <sub>seco</sub>	CARGA	TENSIÓN
		H cm	D cm	A cm <sup>2</sup>	w G	P T	P Kg/cm <sup>2</sup>	
PVAVM	A4	5	13,30	10,28	83,00	2,177	0,590	2,750
PVAVM	A1	5	6,81	10,20	81,71	1,094	0,842	7,720
PVAVM	A3	5	6,20	10,16	81,07	1,034	2,110	21,320

Fuente: Autor

# **CAPÍTULO V**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5.1 ENSAYO CÁNTABRO

Los resultados obtenidos en el ensayo de cántabro, nos indica que, el desgaste que se produce en las briquetas es mayor mientras más húmedas están las muestras, en el caso de las muestra húmedas a los dos días las pérdidas son ligeramente mayores, mientras que en el caso de las muestras húmedas a los 5 días la variación de la pérdida de peso es mayor.

También podemos observar que la pérdida de peso depende del porcentaje de asfalto que estas tengan, el peso perdido es mayor mientras menor es el porcentaje de asfalto y el peso perdido es menor cuando el porcentaje de asfalto es mayor.

En el cuadro 5.1, se detalla todas las variaciones que se producen en las muestras como peso inicial, peso final, peso perdido, porcentaje del peso perdido todo esto con sus respectivos porcentajes de asfaltos.

**Cuadro 5. 1**Resultados de ensayo cántabro

**PTASN** = Proyecto troncal amazónica (sector Napo)

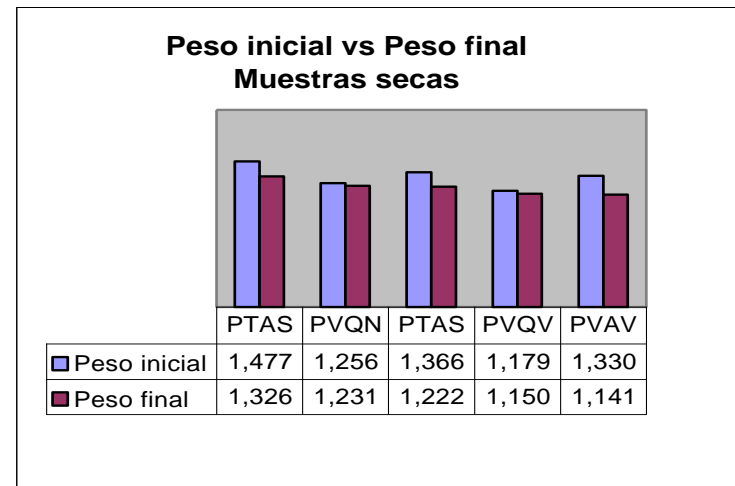
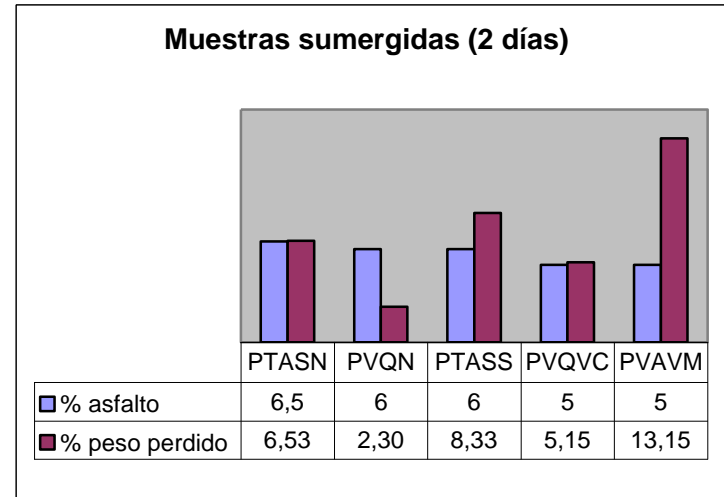
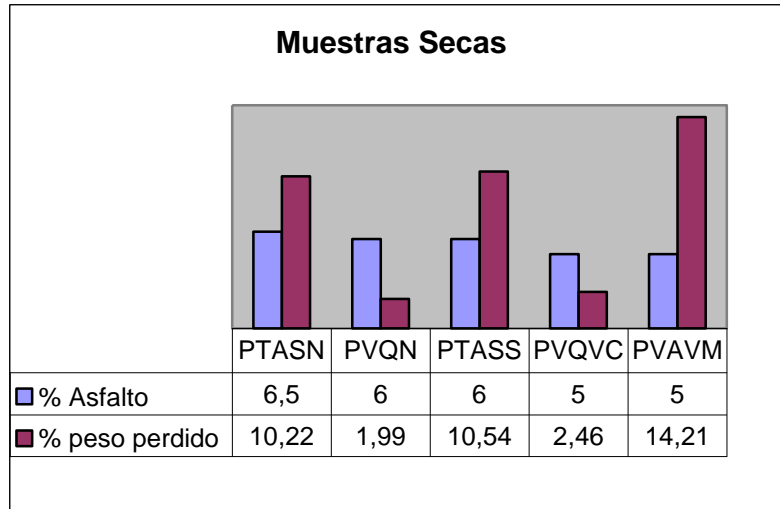
**PVQNO** = Proyecto vial en Quito (Nueva vía oriental)

**PTASS** = Proyecto troncal amazónica (sector Sucumbíos)

**PVQVC** = Proyecto vial en Quito (vía calderón)

**PVAVM** = Proyecto vial Ambato (vía mercado)

Fuente: Autor

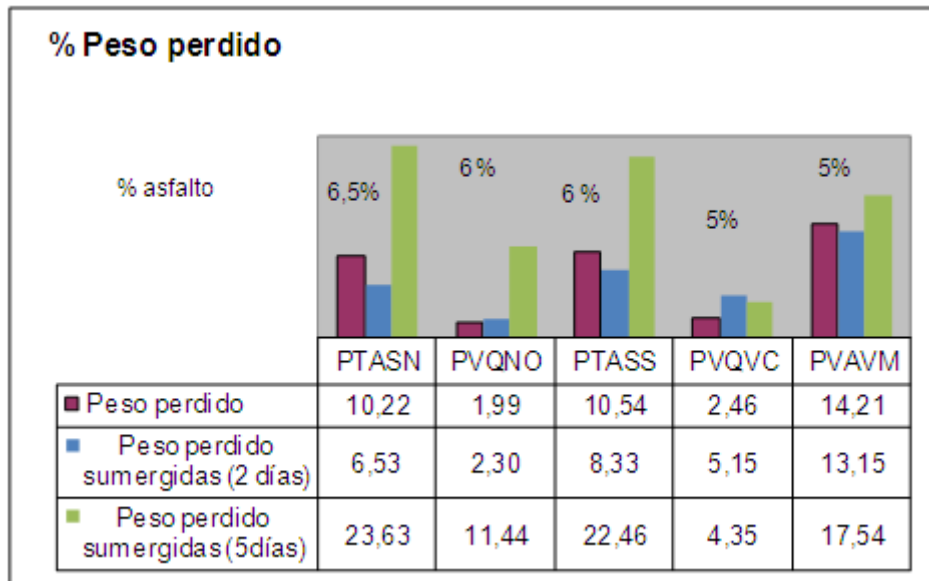


Peso inicial vs Peso final					
Muestras sumergidas (2 días)					
% asfalto	6,5%	6 %	6 %	5%	5%
	PTAS N	PVQN O	PTAS S	PVQV C	PVAV M
Peso inicial	1,370	1,256	1,324	1,079	1,390
Peso final	1,288	1,232	1,221	1,031	1,215

Peso inicial vs Peso final					
Muestras secas					
% asfalto	6,5%	6 %	6 %	5%	5%
	PTAS N	PVQ NO	PTAS S	PVQ VC	PVAV M
Peso inicial	1,328	1,180	1,167	0,998	1,016
Peso final	1,028	1,068	0,922	0,968	0,851

Fuente: Autor





**Fuente:** Autor

De la información obtenida se puede establecer:

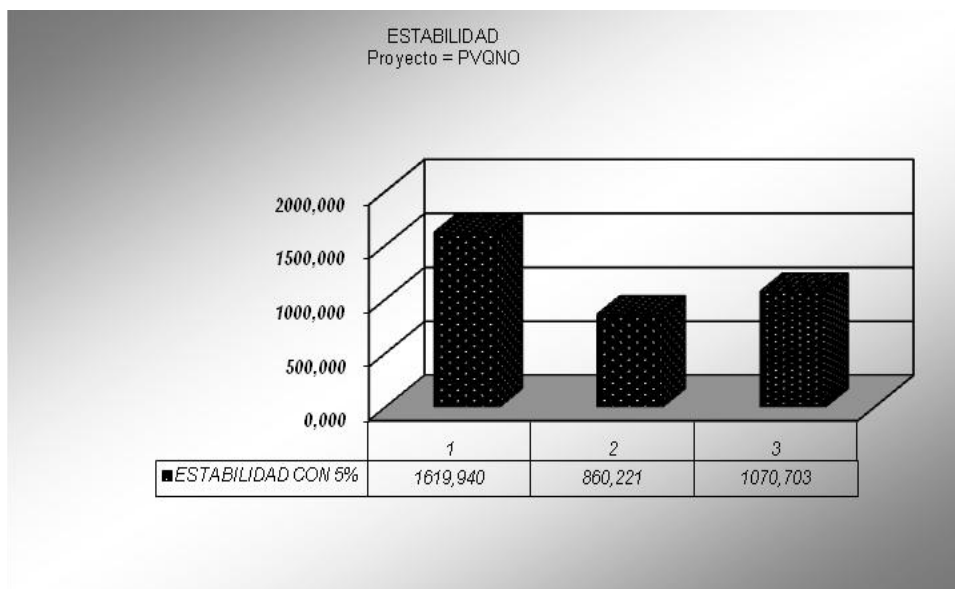
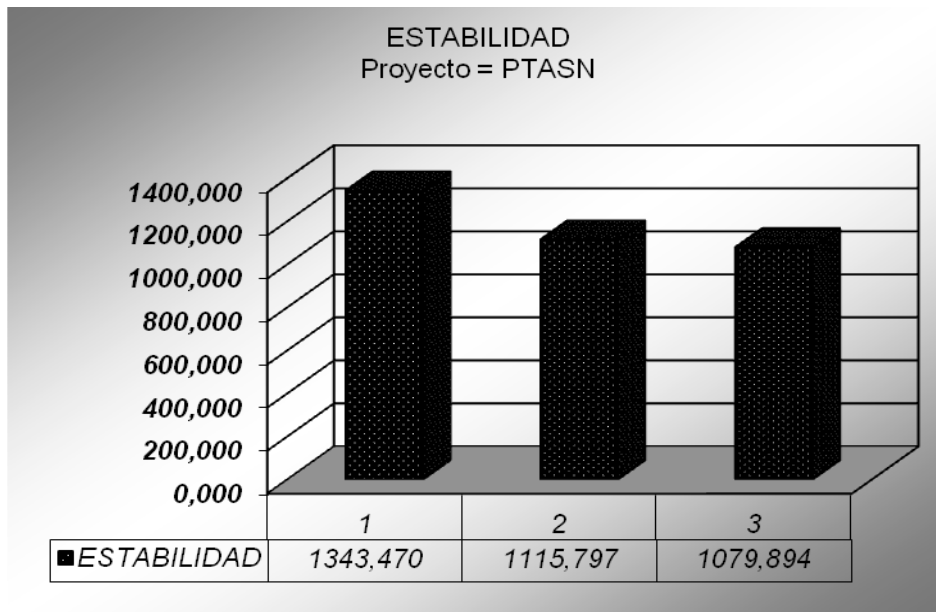
- Para el proyecto PTASN los resultados nos dieron que la mayor pérdida de peso es cuando la muestra estuvo sumergida en 5 días 23,63 %, le sigue la muestra seca 10,22 % y el que menos peso pierde es el que estuvo sumergida 2 días 6,53%.
- Para el proyecto PVQNO los resultados nos dieron que la mayor pérdida de peso es cuando la muestra estuvo sumergida en 5 días 11,44 %, le sigue la muestra sumergida 2 días 2,30 % y el que menos peso pierde es el que estuvo seca 11,44%.

- Para el proyecto PTASS los resultados nos dieron que la mayor pérdida de peso es cuando la muestra estuvo sumergida en 5 días 22,46 %, le sigue la muestra seca 10,54 % y el que menos peso pierde es el que estuvo sumergida 2 días 8,33%.
- Para el proyecto PVQVC los resultados nos dieron que la mayor pérdida de peso es cuando la muestra estuvo sumergida en 2 días 5,15 %, le sigue la muestra sumergida en 5 días 4,35 % y el que menos peso pierde es la muestra seca 2,46%.
- Para el proyecto PVAVM los resultados nos dieron que la mayor pérdida de peso es cuando la muestra estuvo seca 14,21 %, le sigue la muestra sumergida en 2 días 13,15 % y el que menos peso pierde es el que estuvo sumergida 5 días 17,54%.

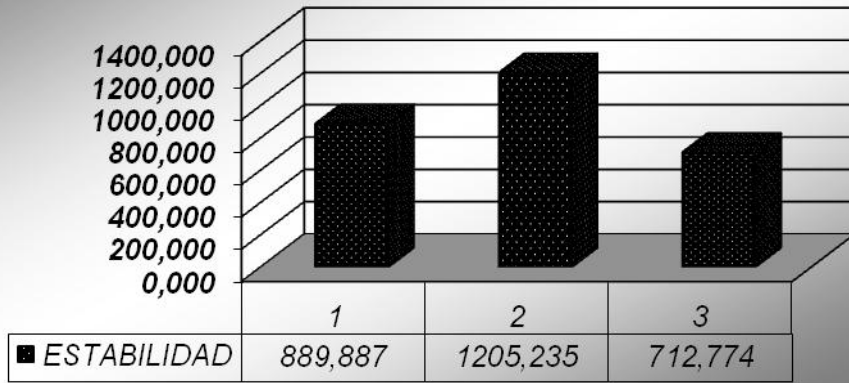
## 5.2 ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL

Los resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad marshall, como podemos observar en los siguiente resultados de la tabla 5.2, nos indica que, la estabilidad obtenida en todos los casos hay un valor que sale del rango es por esto que en cada proyecto se desecho estos valores y se obtuvo la media de cada uno.

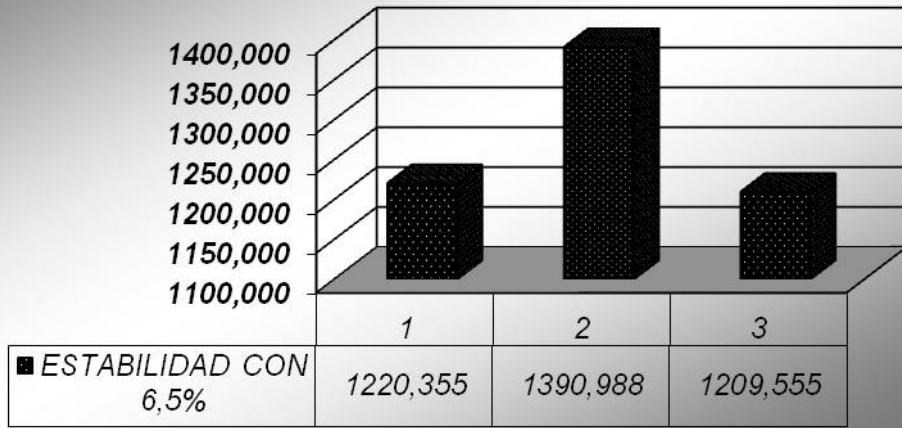
**Cuadro 5. 2** Resultados de ensayo estabilidad marshall



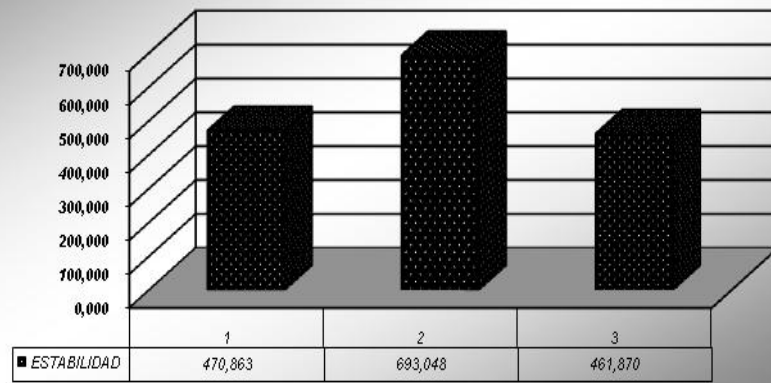
ESTABILIDAD  
 Proyecto = PVQVC



ESTABILIDAD  
 Proyecto = PTASS



ESTABILIDAD  
 Proyecto = PVALJM



Se determino también la densidad bulk, el promedio de cada proyecto y en el gráfico 5.3 se puede observar la variación que tuvo la densidad y cuál es la diferencia comparando cada proyecto.

Estos datos nos han servido de referencia para poder establecer que las muestras que se tomaron de las briquetas están en los parámetros de otros análisis ya establecidos anteriormente y para utilizar estos datos si fueren necesarios en el objetivo de este trabajo que es la determinación de la falla por fatiga de las mezclas asfálticas.

Después de haber desechado los valores que salen del rango se estableció el promedio de la estabilidad marshall y los resultados son los siguientes:

El promedio de la estabilidad marshall del proyecto PTASN es de 965,462 libras.

El promedio de la estabilidad marshall del proyecto PVQVC es de 801,331 libras.

El promedio de la estabilidad marshall del proyecto PVQNO es de 1097,845 libras.

El promedio de la estabilidad marshall del proyecto PTASS es de 1214,955 libras.

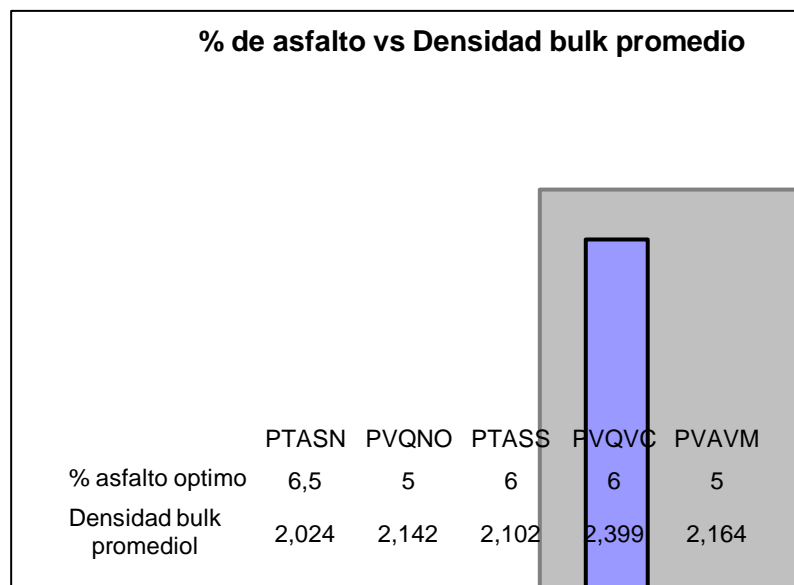
El promedio de la estabilidad marshall del proyecto PVAUM es de 466,3665 libras.

Estos valores obtenidos se comparan con los que se establecen en el manual del MOP-001-F, en el capítulo sobre Ensayos y Tolerancias 405.5.04, en la tabla 405-5.4, la cual nos da rangos de estabilidad marshall para el tipo de tráfico, de estos valores podemos concluir que los rangos que tenemos en los proyectos PVQNO, PTASS, son

para tráfico liviano ya que el valor para este es de 1000 libras, mientras que los proyectos restantes nos dan rangos por debajo del mínimo.

En el cuadro 5.3 se muestra los promedios obtenidos de la densidad bulk de cada proyecto con su respectivo porcentaje óptimo de asfalto.

**Cuadro 5. 3** Variación de la densidad



**Fuente:** Autor

### 5.3 ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión simple, el cual se lo realizó en muestras secas y húmedas con sus respectivos porcentajes de asfalto.

**Tabla 5. 1** Carga de rotura y tensión ensayo compresión simple

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>					
<b>MUESTRAS SUMERGIDAS</b>					
<b>Nº</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>Tensión</b>	<b>Tensión corregida</b>
			<b>P</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\sigma_c</math></b>
			<b>T</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PTASN	4-10	6,5	5,357	63,790	52,947
PVQNO	15	6	5,708	68,500	56,855
PTASS	4-26	6	6,222	74,670	61,976
PVQVC	1	5	4,521	54,680	45,384

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>					
<b>MUESTRAS SECAS</b>					
<b>Nº</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>Tensión</b>	<b>Tensión c</b>
			<b>P</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\sigma_c</math></b>
			<b>T</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PTASN	4-18	6,5	6,112	72,790	45,858
PVQNO	16	6	5,618	68,480	43,142
PTASS	4-21	6	7,348	88,180	55,553
PVQVC	11	5	4,648	56,010	35,286

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>					
<b>MUESTRAS SECAS</b>					
<b>Proyecto</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>Tensión</b>	<b>Tensión c</b>
			<b>P</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\sigma_c</math></b>
			<b>T</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PVAVM	A13	5	4,046	48,280	28,002
PVAVM	A10	5	6,137	72,670	42,149
PVAVM	A5	5	5,364	68,300	38,248

Para una mejor comprensión en el cuadro 5.4 se encuentran las gráficas del ensayo de compresión simple realizadas a las briquetas, las cuales nos da como resultado que la carga para romper una briketa es mayor cuando las muestras están secas, mientras que cuando las briquetas están húmedas la carga ruptura es menor, pero también depende del porcentaje de asfalto y de la fórmula maestra que esta tenga.

También se puede observar muy claramente que la carga utilizada en este ensayo es mucho mayor que el de ensayo de tracción indirecta, esta es cuatro veces mayor, esto es porque el área de este ensayo es mayor que el de tracción indirecta, en consecuencia la resistencia es mayor.

**PTASN** = Proyecto troncal amazónica (sector Napo)

**PVQNO** = Proyecto vial en Quito (Nueva vía oriental)

**PTASS** = Proyecto troncal amazónica (sector Sucumbíos)

**PVQVC** = Proyecto vial en Quito (vía calderón)

**PVAVM** = Proyecto vial Ambato (vía mercado)



**Cuadro 5. 4** Resultados de ensayo compresión simple

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
**% Asfalto Vs Carga**

<b>Muestras Sumergidas</b>		FM1	FM2	FM3	FM4
		PTASN	PVQNO	PTASS	PVQVC
	Carga (T)	5,357	5,708	6,222	4,521
	% Asfalto	6,5	6	6	5

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
**% Asfalto Vs Carga**

<b>Muestras Secas</b>		FM1	FM2	FM3	FM4
		PTASN	PVQNO	PTASS	PVQVC
	Carga (T)	6,112	5,618	7,348	4,648
	% Asfalto	6,5	6	6	5

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
**% Asfalto Vs Carga**

<b>Muestras Sumergidas</b>		FM5	FM5	FM5
		1	2	3
	Carga (T)	4,046	6,137	5,364
	% Asfalto	5	5	5

<b>Fórmula Maestra</b>	
<b>FM1</b>	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
<b>FM2</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM3</b>	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
<b>FM4</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM5</b>	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
Carga Vs Peso

**Muestras Sumergidas**

	FM1	FM2	FM3	FM4
	PTASN	PVQNO	PTASS	PVQVC
Carga (T)	5,357	5,708	6,222	4,521
Peso (G)	1,479	1,225	1,425	1,068

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
Carga Vs Peso

**Muestras Secas**

	FM1	FM2	FM3	FM4
	1	2	3	4
Caraga(T)	6,112	5,618	7,348	4,648
Peso(G)	1,173	1,289	1,226	1,221

**COMPRESIÓN SIMPLE**  
Carga Vs Peso

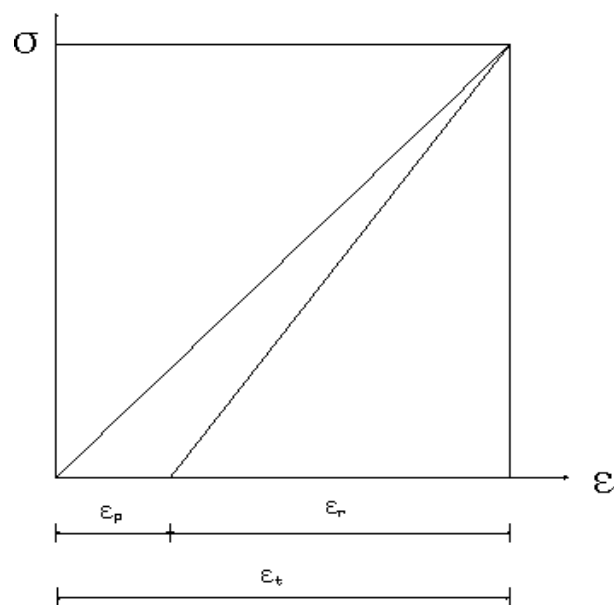
**Muestras Secas**

	FM5	FM5	FM5
	PVAVM	PVAVM	PVAVM
Carga (T)	4,046	6,137	5,364
Peso(G)	0,978	0,906	1,681

Fuente: Autor

#### 5.4 ENSAYO COMPRESIÓN CONFINADA

Para la realización de este laboratorio se escogieron diez muestras dos de cada proyecto, de este ensayo se obtuvieron; la deformación permanente, deformación recuperada y la deformación total, figura 5.1, los resultados están en la tabla 5.2, estos valores nos serán útiles para el cálculo de la fatiga de las muestras asfálticas y la gráfica de deformación total que produce la rotura de la muestra por fatiga vs el número de aplicaciones del eje estándar durante la vida útil.



**Fig 5. 1** Deformación permanente, recuperada y total

Tabla 5. 2 Resultados de deformaciones permanente, recuperable, y total

Def.total $\epsilon_T$ mm	Def.Perma $\epsilon_p$ mm	Def.Recupe $\epsilon_r$ mm
0,569	0,048	0,521
0,724	0,064	0,660
0,503	0,046	0,457
0,668	0,058	0,610
0,523	0,041	0,483
0,610	0,051	0,559
0,554	0,046	0,508
0,577	0,043	0,533
0,691	0,056	0,635
0,610	0,051	0,559

Con los resultados obtenidos se determino dos deformaciones totales promedio una para 6% de asfalto = 0.054 y la de 6.5 % = 0.047. Estos valores nos serán muy utiles en los criterios analizados para determinar la falla por fatiga.

### 5.5 ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA

Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción indirecta, el cual se lo realizó en muestras secas y sumergidas 5 días en agua, con sus respectivos porcentajes de asfalto, se obtuvo la carga a la cual la briqueta se rompe en toneladas y la tensión utilizada en Kg/cm<sup>2</sup>. La tensión se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi * D * H}$$

Donde:

P = Carga aplicada hasta la rotura

D= Diámetro de la probeta

H = Altura de la probeta

$\sigma_1$  = Tensión utilizada

**Tabla 5.3** Carga de rotura y tensión ensayo tracción indirecta

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>				
<b>MUESTRAS SUMERGIDAS</b>				
<b>Nº</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>TENSIÓN</b>
			<b>P</b> <b>T</b>	<b>P</b> <b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PTASN	4-14	6,5	0,980	9,340
PVQNO	20	6	1,002	8,760
PTASS	4 <sub>5</sub> -22	6	1,152	10,640
PVQVC	9	5	0,895	8,980

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>				
<b>MUESTRAS SECAS</b>				
<b>Nº</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>TENSIÓN</b>
			<b>P</b> <b>T</b>	<b>P</b> <b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PTASN	4-25	6,5	1,185	10,170
PVQNO	21	6	1,280	10,710
PTASS	4 <sub>5</sub> -19	6	1,390	11,530
PVQVC	8	5	1,003	9,230

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>				
<b>MUESTRAS SECAS</b>				
<b>Nº</b>	<b>MARCA DE BRIQUETA</b>	<b>% Asfalto</b>	<b>CARGA</b>	<b>TENSIÓN</b>
			<b>P</b> <b>T</b>	<b>P</b> <b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
PVAVM	A4	5	0,590	2,750
PVAVM	A1	5	0,842	7,720
PVAVM	A3	5	2,110	21,320

De la observación del cuadro 5.5 se establece que la resistencia de las muestras disminuye con la saturación de las mismas.

**PTASN** = Proyecto troncal amazónica (sector Napo)

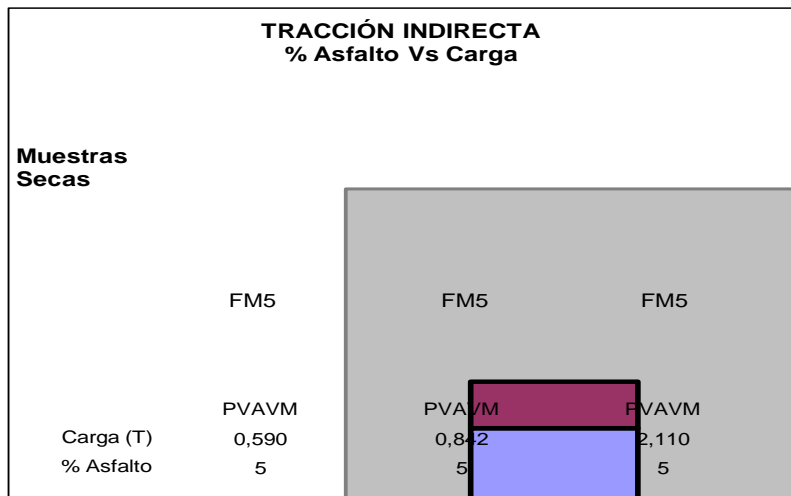
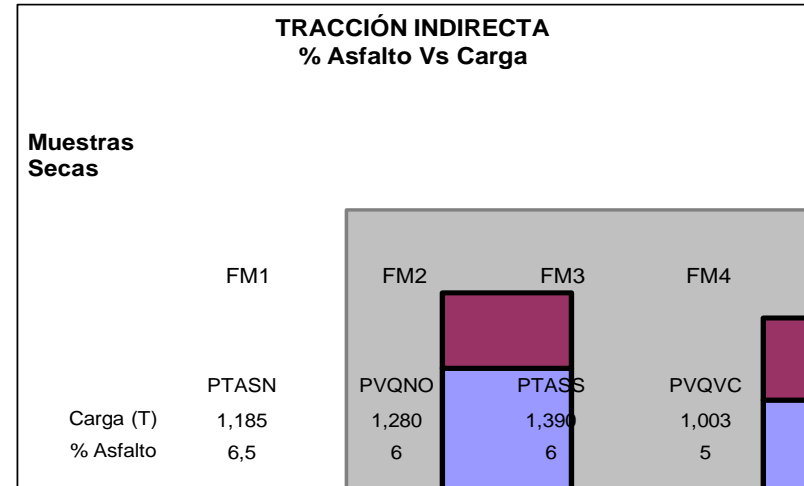
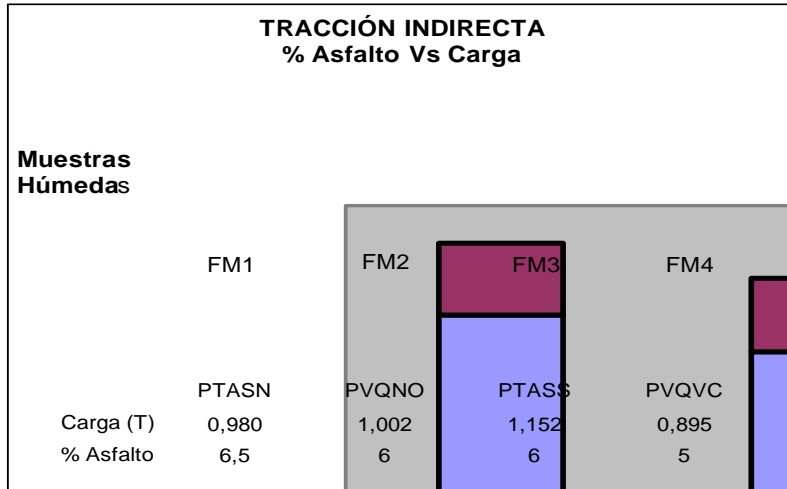
**PVQNO** = Proyecto vial en Quito (Nueva vía oriental)

**PTASS** = Proyecto troncal amazónica (sector Sucumbíos)

**PVQVC** = Proyecto vial en Quito (vía calderón)

**PVAVM** = Proyecto vial Ambato (vía mercado)

**Cuadro 5.5** Resultados de ensayo de tracción indirecta



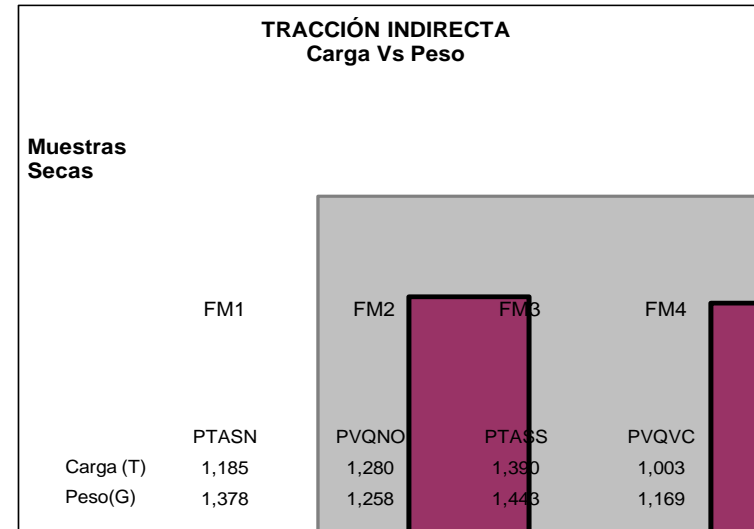
Fuente: Autor

Fórmula Maestra	
<b>FM1</b>	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
<b>FM2</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM3</b>	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
<b>FM4</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM5</b>	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)

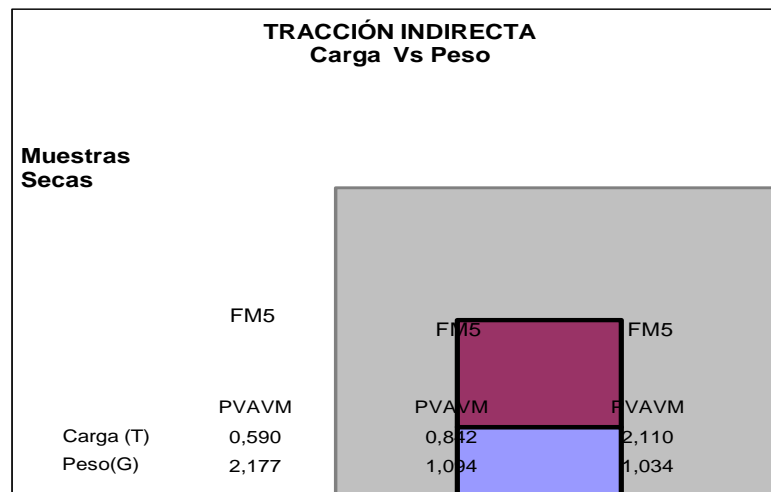
**TRACCIÓN INDIRECTA**  
Carga Vs Peso

**Muestras Sumergidas**

	FM1	FM2	FM3	FM4
	PTASN	PVQNO	PTASS	PVQVC
Carga (T)	0,980	1,002	1,152	0,895
Peso(G)	1,276	1,244	1,300	1,027



Fuente: Autor



<b>Fórmula Maestra</b>	
<b>FM1</b>	3/4(30%),3/8(20%),Arena(50%)
<b>FM2</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM3</b>	3/4(25%),3/8(20%),Arena(55%)
<b>FM4</b>	3/4(40%),3/8(30%),Arena(30%)
<b>FM5</b>	3/4(60%),3/8(15%),Arena(25%)

Después de haber obtenido estos resultados anteriores se calculó el módulo de resiliencia de cada una de las muestras. En la tabla 5.3 se encuentra estos módulos expresados en Kg/ cm<sup>2</sup>.

### 5.5.1 MÓDULO DE ELASTICIDAD O RESILIENCIA

#### TRACCIÓN INDIRECTA MUESTRAS SUMERGIDAS

Proyecto	Briquetas Marca	Carga P	Altura h	Variación $\Delta D$	Módulo Elasticidad E
		T	cm	cm	Kg/cm <sup>2</sup>
PTASN	4-14	0,98	6,48	0.60	1570,13
PVQNO	20	1,002	7,10	0.52	1461,63
PTASS	4 <sub>5</sub> -22	1,152	6,68	0,58	1790,18
PVQVC	9	0,895	6,22	0.55	1493,50

#### MUESTRAS SECAS

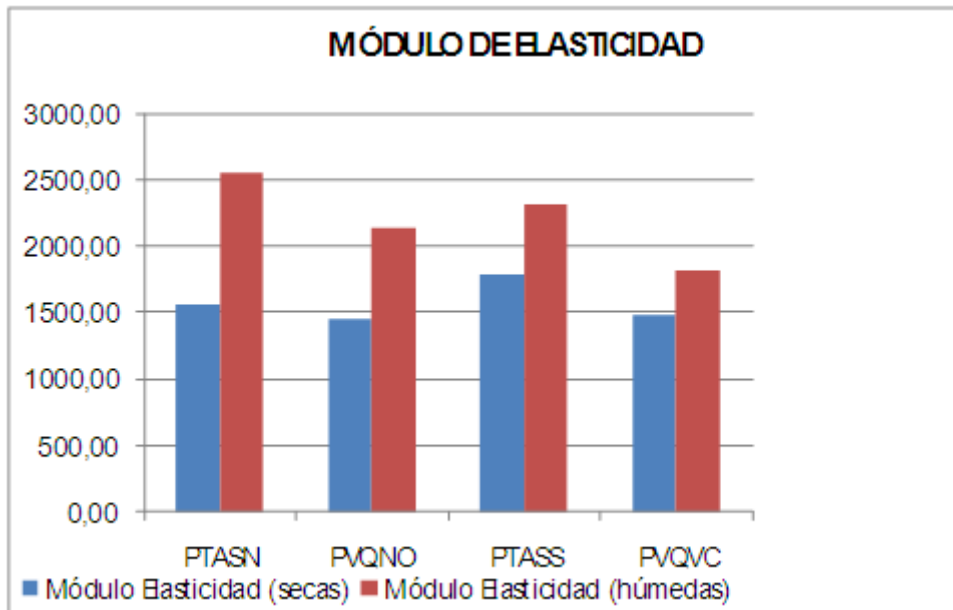
Proyecto	Briquetas Marca	Carga P	Altura h	Variación $\Delta D$	Módulo Elasticidad E
		T	cm	cm	Kg/cm <sup>2</sup>
PTASN	4-25	1,185	7,18	0.4	2573,22
PVQNO	21	1,28	7,40	0,50	2150,66
PTASS	4 <sub>5</sub> -19	1,39	7,44	0.5	2324,94
PVQVC	8	1,003	6,81	0.45	1832,63

#### MUESTRAS SECAS

Proyecto	Briquetas Marca	Carga P	Altura h	Variación $\Delta D$	Módulo Elasticidad E
		T	cm	cm	Kg/cm <sup>2</sup>
PVAVM	A4	0,590	13,30	0,30	920,18
PVAVM	A1	0,842	6,81	0.5	1543,16
PVAVM	A3	2,110	6,20	0.7	3031,08

Tabla 5. 4 Módulo de resiliencia tracción indirecta





**Cuadro 5. 6** Módulos de elasticidad

**Fuente:** Autor

Como se puede observar en el cuadro 5.6, los valores obtenidos en las tablas, el módulo de elasticidad de las muestras secas en todos los proyectos son mayores a los módulos de elasticidad de las muestras sumergidas, disminuye porque al sumergirlas en agua pierde el material cohesión entre sus componentes.

## 5.5.2 MÓDULO DE RIGIDEZ

Para encontrar el módulo de rigidez, lo realizamos de dos formas la primera en una forma gráfica y la segunda utilizando fórmulas de cálculo, el procedimiento es el siguiente:

Para la determinación de la rigidez de la mezcla asfáltica, se emplea la gráfica de Heukelom y para ello es necesario conocer, además de la rigidez del asfalto, la composición volumétrica de la mezcla asfáltica de acuerdo con el diseño de ella en el laboratorio. Para el caso de las mezclas asfálticas en caliente el diseño se basa en el método marshall.

Se ingresa a la gráfica partiendo de la rigidez del asfalto, volumen del asfalto, volumen del agregado; se obtiene el módulo de rigidez de la mezcla en N/m<sup>2</sup>.

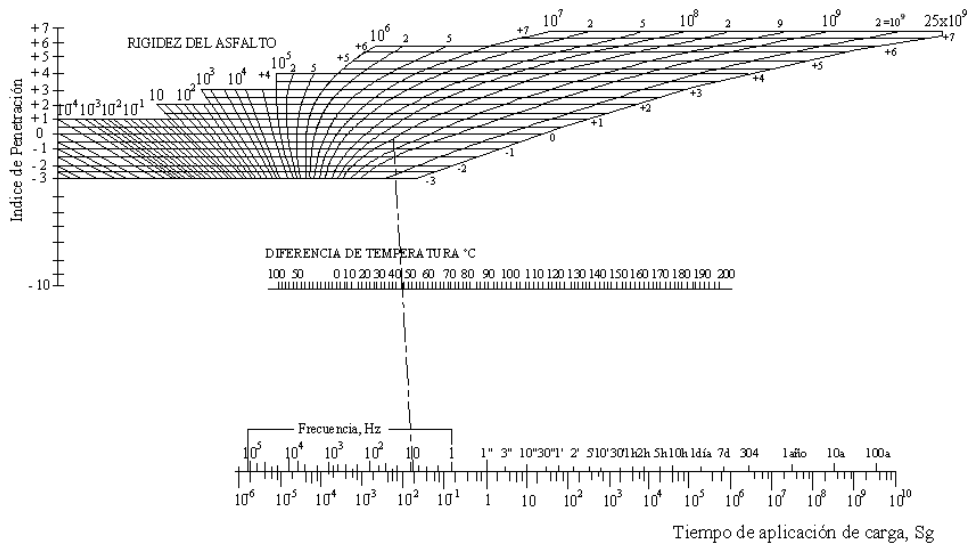
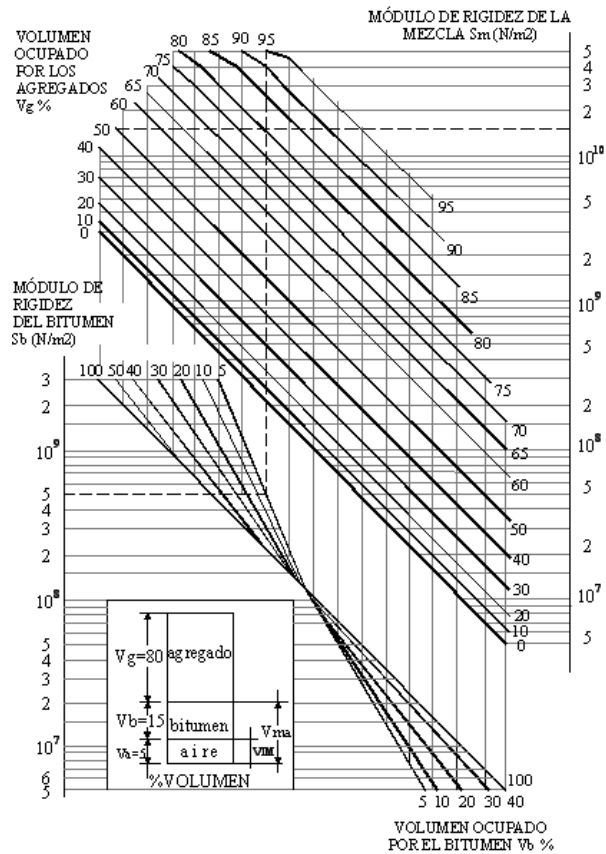


Fig 5. 2 Nomograma de Van Der Poel para determinar la rigidez del asfalto



**Fig 5. 3** Nomograma para el cálculo del módulo de rigidez de las mezclas asfálticas

También se obtiene el módulo de rigidez con las siguientes fórmulas:

\*\*

$$S_m = S_b \left[ 1 + \frac{2.5}{n} \left( \frac{c_v}{1 - c_v} \right) \right]^n$$

$$n = 0.83 \times \log \left( \frac{4 \times 10^4}{S_b} \right)$$

$$c_v = \frac{V_g}{V_g + V_b}$$

$$c'_v = \frac{c_v}{1 + \left( \frac{v - 3}{100} \right)}$$

\$S\_b\$ = Módulo de rigidez del bitumen  
 \$S\_m\$ = Módulo de Rigidez  
 \$V\_g\$ = Volúmen agregados  
 \$V\_b\$ = Volúmen del asfalto  
 \$v\$ = Porcentaje de vacios

\*\* “Curso de diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos”, apuntes de clases (Torres E. Milton);:

Los resultados que se obtuvieron en cada caso son muy similares y en la tabla 5.5 se resume los resultados los cuales son:

**Tabla 5. 5 Resultados módulo de rigidez**

**TRACCIÓN INDIRECTA**

**MUESTRAS SUMERGIDAS**

Proyecto	Briquetas Marca	Carga	Altura	Tiempo	Temperatura	Mr del bitumen	Módulo Rigidez
		P	h	T	t	Sb	Sm
		T	cm	s	°C	Mpa	Mpa
PTASN	4-14	0,98	6,48	10	18	0,66	8000,00
PVQNO	20	1,002	7,10	12	18	0,75	12000,00
PTASS	4 <sub>5</sub> -22	1,152	6,68	11	18	0,70	11000,00
PVQVC	9	0,895	6,22	13	18	1,00	14000,00

**MUESTRAS SECAS**

Proyecto	Briquetas Marca	Carga	Altura	Tiempo	Temperatura	Mr del bitumen	Módulo Rigidez
		P	h	T	t	Sb	Sm
		T	cm	s	°C	Mpa	Mpa
PTASN	4-25	1,185	7,18	11	18	0,67	8000,00
PVQNO	21	1,28	7,40	12	18	0,78	12000,00
PTASS	4 <sub>5</sub> -19	1,39	7,44	10	18	0,72	11000,00
PVQVC	8	1,003	6,81	13	18	0,95	14000,00

**MUESTRAS SECAS**

Proyecto	Briquetas Marca	Carga	Altura	Tiempo	Temperatura	Mr del bitumen	Módulo Rigidez
		P	h	T	t	Sb	Sm
		T	cm	s	°C	Mpa	Mpa
PVAVM	A4	0,590	13,30	15	18	0,70	10000
PVAVM	A1	0,842	6,81	17	18	0,76	9000
PVAVM	A3	2,110	6,20	17	18	0,72	11000

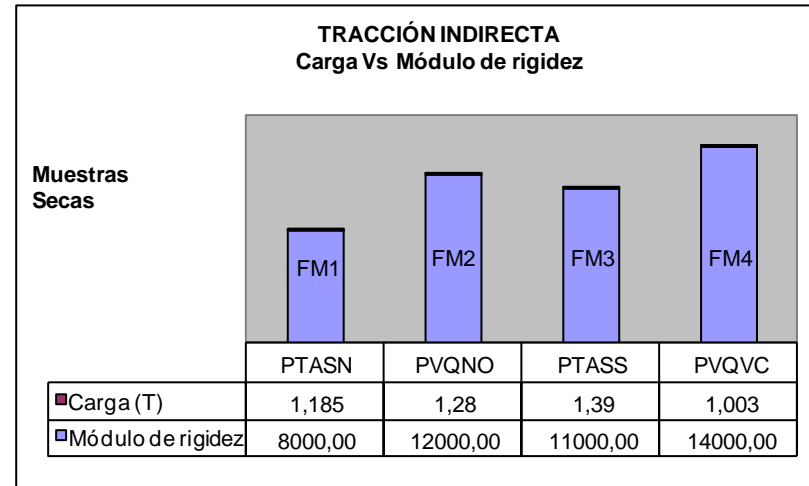
Los resultados son casi similares en todos los casos y el módulo de rigidez varía entre 8000 Mpa y 14000 Mpa dependiendo de la procedencia de la briqueta. A continuación en cuadro 5.7, se muestra de una mejor manera la variación del módulo de rigidez

**Cuadro 5. 7** Módulo de rigidez

**TRACCIÓN INDIRECTA**  
Carga Vs Módulo de rigidez

**Muestras Sumergidas**

	FM1	FM2	FM3	FM4
	PTASN	PVQNO	PTASS	PVQVC
Carga (T)	0,98	1,002	1,152	0,895
Módulo de rigidez	8000,00	12000,00	11000,00	14000,00



**TRACCIÓN INDIRECTA**  
Carga Vs Módulo de rigidez

**Muestras Secas**

	FM5
	PVAVM
Carga (T)	0,590
Módulo de rigidez	10000

**Fuente:** Autor

**CAPÍTULO VI**

**CRITERIOS ANALIZADOS PARA**

**DETERMINAR LA RESISTENCIA**

**A LA FATIGA**

## 6.1 CRITERIO DEL CRR (CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CARRETERAS DE BÉLGICA).

El parámetro utilizado para los estudios de fatiga de este criterio es la determinación de la deformación total para que se produzca el daño por fatiga bajo la aplicación de un número determinado de aplicaciones de carga de un eje estándar.

El criterio utilizado para este cálculo es el que se indica a continuación

$$\varepsilon_T = \varepsilon_{p(1)} * N^{-0.21}$$

En donde:

$\varepsilon_T$  = Deformación total al final de los N ciclos de Carga.

$\varepsilon_{p1}$  = Deformación permanente para la primera aplicación de la carga

Nt = Número de aplicaciones del eje estándar durante la vida útil.

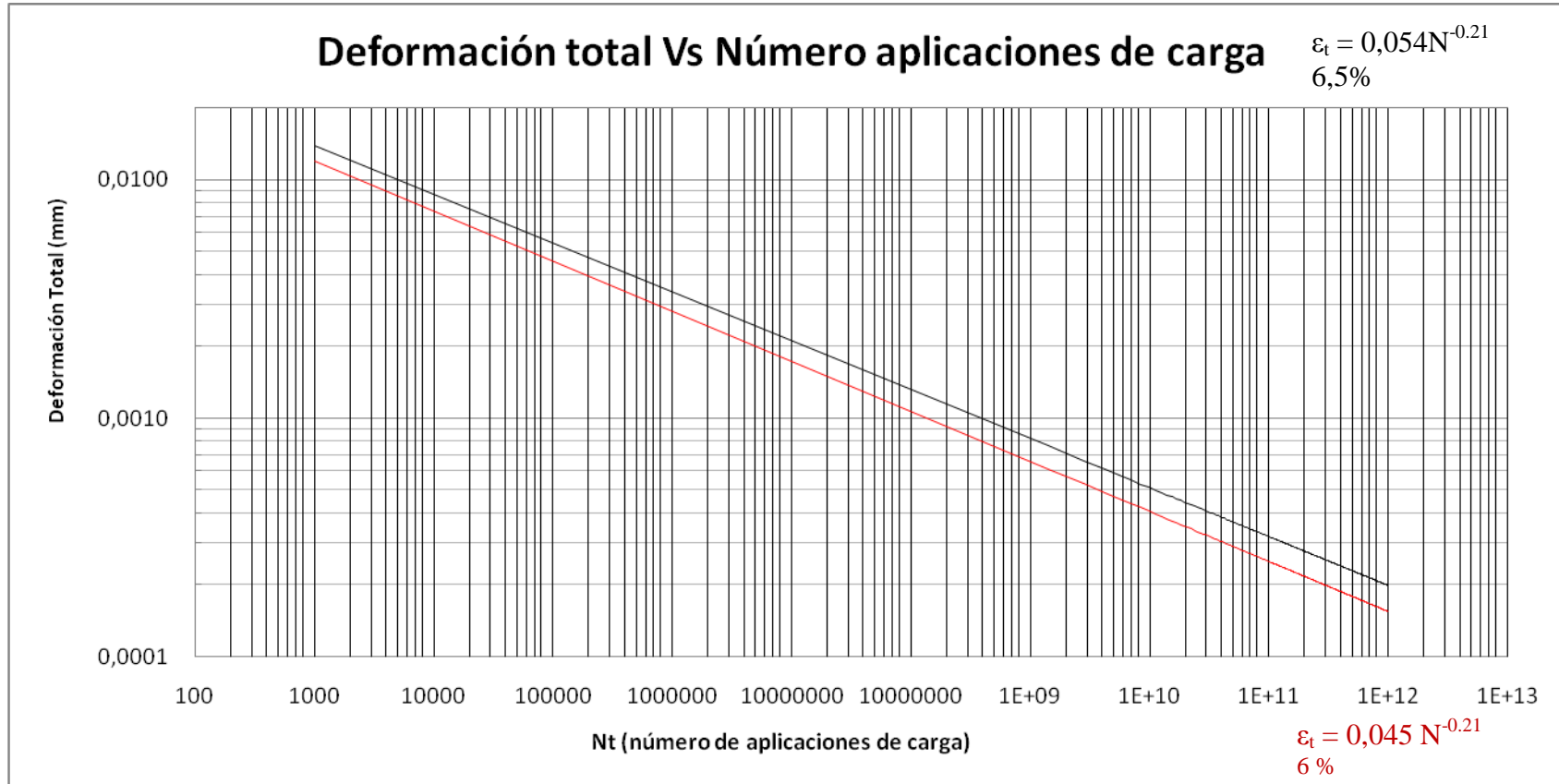
Con los datos obtenidos en los ensayos de compresión confinada y aplicando la fórmula indicada anteriormente se obtuvo los valores que se indican en tabla 6.1, que colocados en un gráfico log N vs log  $\varepsilon_T$  nos muestra su variación lineal en el gráfico 6.1.

**Tabla 6. 1** Resultados de deformación total

Nt #	$\varepsilon_T$ $\varepsilon_{p1} = 0.047$	$\varepsilon_T$ $\varepsilon_{p1} = 0.054$
1000	0,0120	0,0130
10000	0,0074	0,0084
100000	0,0045	0,0055
1000000	0,0028	0,0038
10000000	0,0017	0,0019
100000000	0,0011	0,0015
1000000000	0,0007	0,0009
10000000000	0,0004	0,0006
100000000000	0,0002	0,0002
1000000000000	0,0002	0,0002

Fig 6. 1 Resultados de deformación total

Escala Logarítmica



Escala Logarítmica



Que puede ser de mucha utilidad en los trabajos de conservación y mantenimiento del pavimento, ya que conociendo el número de ciclos de la vida útil, se puede determinar cuál es la deformación total del pavimento en la cual se producirá el daño por fatiga.

Es de importancia señalar que este ensayo y la ley de fatiga analizada, está en función de cada fórmula maestra, siendo necesario complementar el diseño de la mezcla con ensayos de compresión confinada, para establecer la deformación permanente inicial que nos permite graficar la curva de fatiga para cada material.

Siendo

$$K = \varepsilon_p(1)$$

$$\varepsilon_T = K * N^{-0,21}$$

## **6.2 CRITERIO EXPERIMENTAL.**

Según lo establecido por el Instituto de Postgrado de la Universidad del Cauca en la Fig.6.2 nos muestra las curvas experimentales obtenidas en diferentes investigaciones internacionales sobre la resistencia a la fatiga de materiales de mezclas asfálticas en caliente, en la cual se relaciona la variación del número de aplicaciones carga con el desviador de tensiones que se aplica en ensayos triaxiales con cargas repetidas, de cuyo análisis se puede observar que existe un grupo de curvas en la parte superior del gráfico que tienen una tendencia determinada, por lo que en esta familia de curvas se determinó la ecuación de la curva media que es la que se indica en la figura 6.3.

**Fig 6. 2** Resultados de ensayo de fatiga obtenidos en otros países

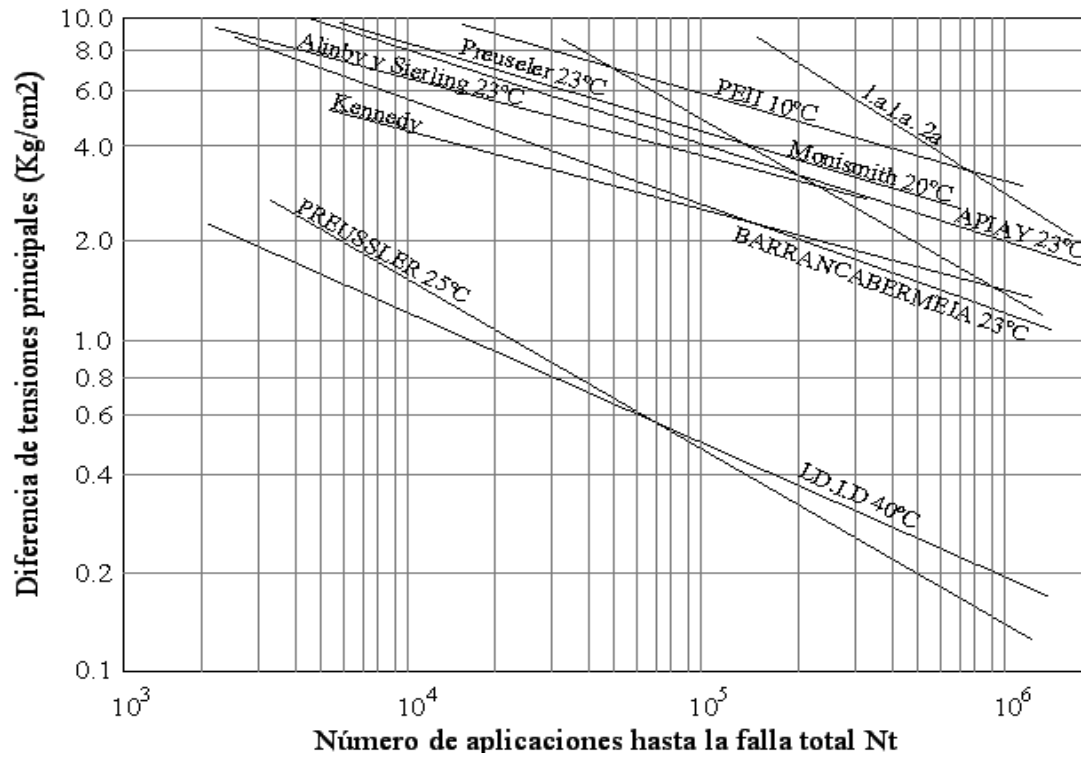
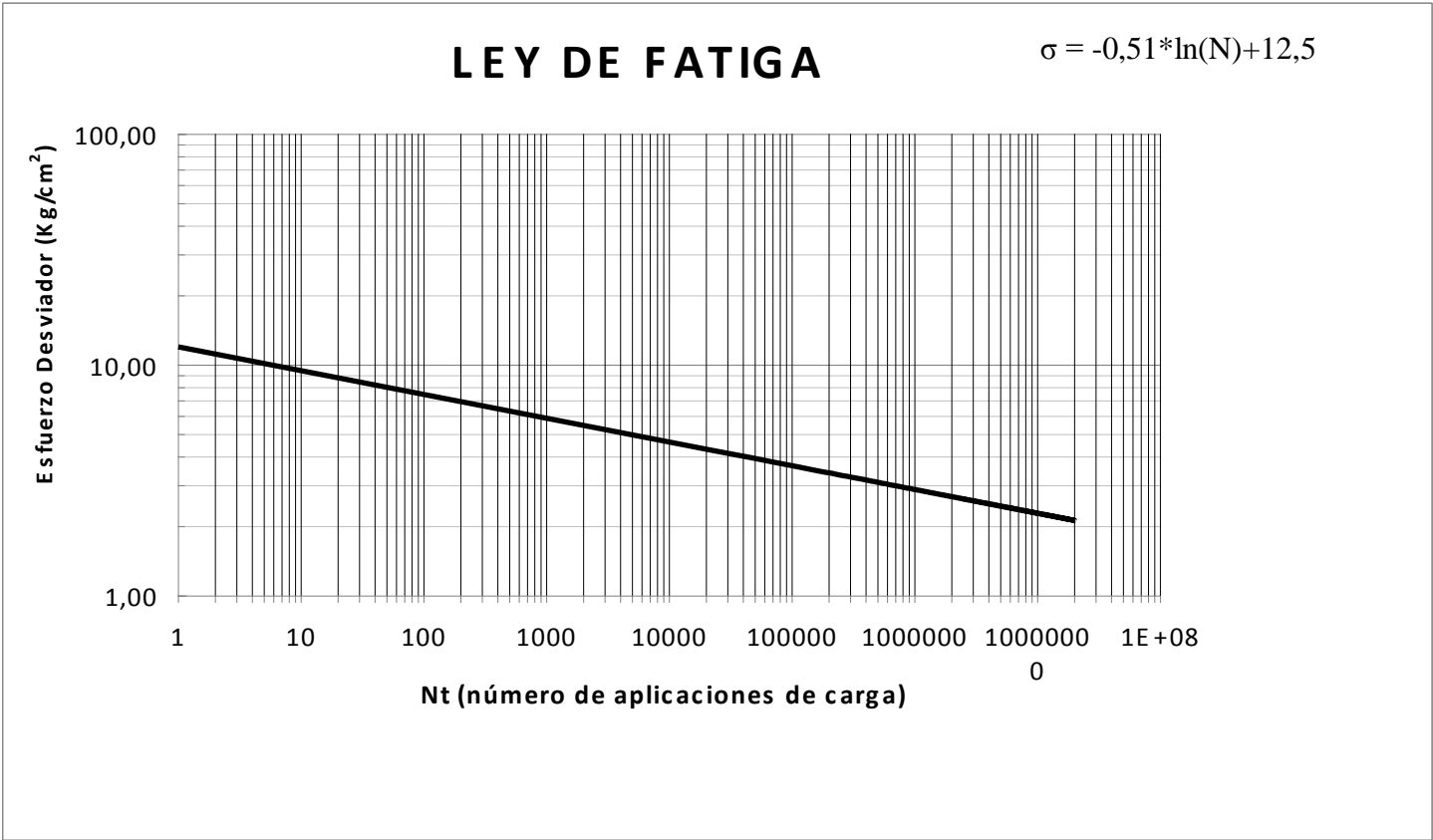


Fig 6. 3 Esfuerzo desviador vs Nt



Para encontrar la fatiga que se produce en las muestras asfálticas tenemos que con los resultados obtenidos del ensayo de compresión confinada podemos utilizar la siguientes fórmulas.

$$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$$

Que en obra podemos determinar con la expresión de Bousinesqs que la mezcla asfáltica puede estar sometida a una presión de confinamiento igual a la que se indica en la siguiente expresión.

$$\sigma_3 = \frac{P}{2\pi * z^2} (1 - 2\mu) * \left[ \cos^3 \theta - \frac{\cos^2 \theta}{1 + \cos \theta} \right]$$

Donde:

Z = Espesor de la capa de rodadura

Nt = Número de aplicaciones del eje estándar durante la vida útil.

P = Carga aplicada por la rueda simple equivalente

$\mu$  = Módulo de poisson (0,35)

$\sigma_d$  = Esfuerzo desviador

$\sigma_1$  = Esfuerzo vertical

$\sigma_3$  = Esfuerzo de confinamiento

$\theta = 0$

De acuerdo a lo establecido en las curvas podemos indicar que para establecer la resistencia a la fatiga conociendo el número de repeticiones de carga establecido en el diseño, entramos en la recta esfuerzo desviador vs número de aplicaciones carga colocados en un gráfico log N vs log  $\sigma_d$ , gráfico 6.3.

Obtenemos el esfuerzo desviador  $\sigma_d$ , y con la determinación del esfuerzo de confinamiento con la fórmula antes mencionada  $\sigma_3$ , que tiene la muestra asfáltica la cual está en función del espesor de la capa de rodadura se obtiene un valor constante de  $2 \text{ Kg/cm}^2$ , por ultimo determinamos  $\sigma_1$  que es la resistencia a la fatiga de la mezcla, los resultados de estos valores se muestran en la tabla 6.2.

**Tabla 6. 2** Resultados de deformaciones

<b>Proyecto</b>	<b>Nt #</b>	<b>h cm</b>	<b><math>\sigma_d</math> Kg/cm2</b>	<b><math>\sigma_3</math> Kg/cm2</b>	<b><math>\sigma_1</math> Kg/cm2</b>
PTASN	1	7,56	10,5	2,0	12,5
PVQNO	10	6,97	9,2	2,0	11,2
PTASS	100	7,30	7,5	2,0	9,5
PVQVC	1000	6,10	5,9	2,0	7,9
PTASN	10000	6,14	4,8	2,0	6,8
PVQNO	100000	7,32	3,6	2,0	5,6
PTASS	1000000	7,30	2,9	2,0	4,9
PVQVC	10000000	7,16	2,3	2,0	4,3

### 6.3 CRITERIO DEL ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA

Según lo establecido por el Instituto de Postgrado de la Universidad del Cauca, este criterio se basa en los resultados de las pruebas del ensayo de tracción indirecta realizadas en condiciones de tensión controlada, utilizándose para el cálculo, la siguiente expresión

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi * D * H}$$

$$\sigma = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1 - (-3\sigma_1) = 4\sigma_1$$

Esta relación fue obtenida de un estudio en el cual las losas de asfalto fueron ensayadas en una máquina de simulación bajo un rodillo, y se concluyó que los patrones de grietas observados eran muy similares a aquellos definidos en la práctica como agrietamiento de piel de cocodrilo.

Donde:

P = Carga aplicada hasta la rotura

D= Diámetro de la probeta

H = Altura de la probeta

$\sigma$  = Desviador de Tensiones

$\sigma_1$  = Esfuerzo principal mayor

$\sigma_3$  = Esfuerzo principal menor.

Con los resultados obtenidos en los ensayos de tracción indirecta y considerando que el valor obtenido corresponde a la tensión principal de confinamiento  $\sigma_3$  y teniendo en consideración lo establecido en el gráfico 6.3 obtenemos los valores de  $\sigma$ , de esta manera se puede determinar las tensiones principales que es la resistencia a la fatiga de la mezcla, los resultados finales están en tabla 6.3

Briquetas Marca	Carga P	DIAMETRO D	Altura h	Tensión principal $\sigma_3$	Diferencia de tensiones $\sigma$	Tensión principal $\sigma_1$
	T	cm	cm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
4-14	1200	10,31	6,48	10,80	10,5	21,30
20	1002	10,26	7,10	10,00	9,2	19,20
4 <sub>s</sub> -22	1152	10,32	6,68	10,00	7,5	17,50
9	895	10,20	6,22	10,00	5,9	15,90
4-25	1185	10,33	7,18	10,80	4,8	15,60
21	1280	10,28	7,40	10,00	3,6	13,60
4 <sub>s</sub> -19	1390	10,32	7,44	10,00	2,9	12,90
8	1003	10,16	6,81	10,00	2,3	12,30

**Tabla 6. 3** Esfuerzos de tensión

#### 6.4 CRITERIO BASADO EN LA PROPUESTA SHELL

Según lo establecido en la propuesta del método de diseño Shell, para calcular el número de aplicaciones o repeticiones que se deben realizar para que ocurra la falla por fatiga en las mezclas asfálticas, se calcula utilizando la fórmula siguiente.

$$Nf = \left[ \frac{\epsilon_t}{(0.85V_d + 1.08)S_{mix}^{-0.36}} \right]^{-5}$$

Donde:

Nf = Número de repeticiones o aplicaciones de carga para que ocurra la falla

$\epsilon_t$  = Deformación a la tensión

$S_{mix}$  = Rigidez de la mezcla

$V_d$  = Contenido de asfalto por volumen (ensayo marshall)

Para el caso de este criterio se realizó el ensayo de compresión confinada, se aplicó una carga constante de 7 Kg/cm<sup>2</sup>, del cual se obtuvieron las deformaciones totales, los valores están en la tabla 6.4



**Tabla 6. 4** Resultados de deformaciones permanente, recuperable, y total

Def.Perma $\epsilon_p$ mm	Def.Recupe $\epsilon_r$ mm	Def.total $\epsilon_T$ mm
0,048	0,521	0,569
0,064	0,660	0,724
0,046	0,457	0,503
0,058	0,610	0,668
0,041	0,483	0,523
0,051	0,559	0,610
0,046	0,508	0,554
0,043	0,533	0,577
0,056	0,635	0,691
0,051	0,559	0,610

Por último, con los datos obtenidos y aplicando la fórmula de la propuesta Shell, indicada anteriormente obtenemos el número de aplicaciones o repeticiones de un eje estándar que se deben realizar para que ocurra el daño por fatiga, estos valores se indican en la Tabla 6.5

PROYECTO	Vd	$S_{mix}$	$\epsilon_t$	$N_f$
	%	Kg/cm	cm	#
PTASN	14,44	0,382	0,057	1313679
PVQNO	16,11	0,368	0,072	1078035
PTASS	13,54	0,391	0,050	1307544
PVQVC	7,48	0,485	0,067	1395425
PVAVM	14,44	0,382	0,052	1025214
PTASN	16,11	0,368	0,610	1231552
PVQNO	13,54	0,391	0,055	1469313
PTASS	7,48	0,485	0,058	1155935
PVQVC	17,9	0,354	0,069	1144527
PVAVM	16,4	0,365	0,061	1071089

**Tabla 6. 5** Número de repeticiones de carga para que ocurra la falla

## 6.5 CRITERIO BASADO EN LA LEY DE MINER Y PROGRAMA DEPAV

Para saber si existe o no fatiga con este criterio primero debemos calcular los valores de la deformación máxima que se produce cuando se aplica una carga, para obtener esta deformación utilizamos el programa DEPAV, en el cual se necesita introducir las siguientes variables: módulo de elasticidad, espesor del pavimento, distancia entre llantas, relación de poisson, radio de la carga, con estos valores y con la fórmula de Miner podemos saber si es que produce daño por fatiga en cada una de las muestras asfálticas, la cual indica que

$$\frac{\log W_{18}''}{\log W_{18}} \leq 1 \quad \text{No se produce daño por fatiga}$$

$$\log W_{18} = -3.13 + \frac{h}{380} - 3.291 * \log \varepsilon_t - 0.854 * \log E$$

Donde:

$W_{18}$  = Número acumulado de ejes equivalente de 18 kip (18000libras durante el periodo de vida útil de diseño de pavimento). Fórmula

$W_{18}'' = 6$ ; Número acumulado de ejes equivalente de 18 kip (18000libras durante el periodo de vida útil de diseño de pavimento). Calculado diseño del pavimento.

$h$  = Espesor de la capa de concreto asfáltico. (en este caso el de la briqueta)

$\varepsilon_t$  = Deformación máxima.

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto asfáltico

Los datos constantes que introducimos en el programa DEPAV, para todos los casos son los siguientes:

Radio de carga = 10,81 cm

Presión de contacto = 5,63 Kg/cm<sup>2</sup>

Distancia entre ejes de llanta = 32,43 cm

Módulo de elasticidad = 28122 Mp

$\mu$  = módulo de poisson = 0,35

Para este caso el  $W_{18}$  es de 1000000 por lo que el log es 6, esto se utiliza en la fórmula anteriormente enunciada.

Con estos resultados de la deformación aplicamos las fórmulas indicadas anteriormente, en este método la variable principal es la altura del pavimento (en este caso la altura de la briqueta).

Se puede comprobar en la tabla 6.6, que todas las muestras no cumplen con la ley de Miner por fatiga, ya que todos los valores obtenidos son mayores a uno, y podemos concluir que las fórmulas maestras como el porcentaje de bitumen no son los ideales en los casos que hemos ensayado.

Proyecto	Def.max $\epsilon$ cm	Altura h cm	Miner
			$W_{18}''/W_{18}$ < 1
PTASN	3,58E-04	6,48	1,10
PVQNO	3,37E-04	7,10	1,08
PTASS	3,51E-04	6,68	1,10
PVQVC	3,66E-04	6,22	1,11
PTASN	3,35E-04	7,18	1,08
PVQNO	3,28E-04	7,40	1,07
PTASS	3,27E-04	7,44	1,07
PVQVC	3,47E-04	6,81	1,09

**Tabla 6. 6** Ley de Miner

**CAPÍTULO VII**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 7.1. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en el análisis de los ensayos realizados, los cuales se observan en la tabla 7.1, se puede concluir lo siguiente:

**Tabla 7. 1** Resultados obtenidos de ensayos realizados

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS						
PROYECTO	MUESTRAS	CANTABRO	ESTABILIDAD	COMPRESIÓN SIMPLE	TRACCIÓN INDIRECTA	MÓDULO ELASTICIDAD
Ubicación	Tipo	%	Lib	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
PTASN	Secas	10,22	965,462	72,79	10,17	2572,22
PVQNO	Secas	1,99	801,331	68,48	10,71	2156,66
PTASS	Secas	10,54	1097,845	88,18	11,53	2329,94
PVQVC	Secas	2,46	1214,955	56,01	9,23	1836,63
PTASN	Sumergidas 5días	23,63	965,462	63,79	9,34	1570,13
PVQNO	Sumergidas 5días	11,44	801,331	68,50	8,76	1461,63
PTASS	Sumergidas 5días	22,46	1097,845	74,67	10,64	1790,18
PVQVC	Sumergidas 5días	4,35	1214,955	54,68	8,98	1495,5

- Mediante el ensayo de cántabro se logro determinar que mientras más húmedas se encuentren las briquetas mayor será el desgaste, por lo tanto se considera que el agua es un factor importante a ser controlado en cualquier proceso de construcción de carreteras.
- Con el ensayo de compresión simple y tracción indirecta, se determinó que el esfuerzo utilizado para que ocurra la rotura en las briquetas es mayor cuando las muestras se encuentran secas, ya que cuando las muestras se encuentran húmedas, pierden su cohesión, disminuyendo su resistencia.
- El ensayo estabilización marshall no brinda ningún dato adicional relacionado con la durabilidad, resistencia o comportamiento mecánico de la mezcla, pero si nos facilita datos de estabilidad con los cuales se realiza comparaciones Ensayos y tolerancias incluidos en el manual del MOP-001-F, para establecer rangos de estabilidad para el tipo de tráfico.

De los resultados obtenidos en el análisis de fatiga se puede concluir lo siguiente:

- En base al procedimiento del Centro de Investigaciones de Carreteras de Bélgica se obtiene la deformación total para que se produzca el daño por fatiga de las mezclas asfálticas en caliente con la aplicación de un número determinado de ejes equivalentes, es un método fácil porque solo necesita una sola aplicación de carga para medir la  $\epsilon_{p(1)}$ , observando que las curvas de la ley de fatiga depende de las características de las mezclas asfálticas.
- Con el método experimental es necesario realizar ensayos triaxiales con cargas repetidas para determinar el desviador de tensiones que produce la rotura por fatiga de las mezclas asfálticas en caliente bajo un determinado número de aplicaciones de carga de un eje estándar, sin embargo utilizando la experiencia internacional en este campo se puede establecer a priori que si conocemos el valor del esfuerzo principal de confinamiento  $\sigma_3$ , y con el gráfico medio cuya ecuación es  $\sigma = -0,51 \cdot \ln(N) + 12,5$ , el desviador de tensiones para un dado número de aplicaciones de carga, podemos conocer la tensión principal  $\sigma_1$  que produciría la falla por fatiga, en nuestro caso establecemos que  $\sigma_3 = 2 \text{ Kg/cm}^2$  podría tener para una carga de rueda equivalente 4500kg, un espesor de capa de rodadura de 7,5 cm y un número de aplicaciones de carga variable.
- Con el criterio de utilizar el resultado del ensayo de tracción indirecta, podemos concluir en forma a priori que el valor obtenido puede considerarse también como un esfuerzo principal mayor de confinamiento  $\sigma_3$ , y con el mismo criterio anterior podemos establecer en la curva experimental media, el desviador de

tensiones y la tensión principal mayor para que se produzca la falla por fatiga con un determinado número de aplicaciones de carga de un eje estándar.

- Con el criterio Shell, tomando en consideración el límite admisible de deformación total  $\epsilon_T$ , el contenido de asfalto de mezcla y la rigidez de la misma podemos determinar el número de aplicaciones de carga para que se produzca la falla por fatiga, haciendo notar que la determinación de  $\epsilon_T$  es bastante subjetivo.
- Con la aplicación del criterio de Miner se pudo establecer que es un procedimiento de utilidad para verificar si el espesor de la capa de rodadura es el adecuado para resistir el efecto de fatiga, procedimiento que es de mucha utilidad en el diseño en la estructura del pavimento.
- La fatiga que se produce en las mezclas asfálticas depende entre otros factores del esfuerzo al que éste va a ser sometido, y el número de repeticiones de carga.
- Las muestras de mezclas asfálticas utilizadas en ésta investigación son susceptibles a los cambios de temperatura y variaciones de humedad, porque a mayor temperatura y mayor humedad, mayor será la falla por fatiga.
- En ésta investigación se trato de ampliar los procedimientos para encontrar el daño por fatiga, basándose en estudios anteriormente realizados, por ello todo el trabajo realizado se documentó ampliamente con el fin de dejar iniciado un proceso continuo de optimización de los ensayos utilizados para determinación de fatiga en mezclas asfálticas.
- Todos los laboratorios realizados cumplieron normas y procedimientos ya establecidos, así como la utilización de equipos adecuados para su realización.

## 7.2. RECOMENDACIONES.

- Para obtener una mayor precisión de los resultados, se debería realizar mayor control de los ensayos y utilizar equipos apropiados, además de personal calificado para su realización.
- Se debe realizar un estudio más a fondo del tipo de materiales que se utilizan para la fabricación de pavimentos, ya que este es un factor importante para que no se produzca una fatiga anticipada, en la vida útil de las carreteras.
- Es recomendable realizar ensayos de laboratorio con diferentes muestras asfálticas, variando el contenido de asfalto y la fórmula maestra, para de esta manera tener un banco de datos más amplio y poder utilizarlos en diseños de pavimentos, de igual forma se podría utilizar muestras de un solo proyecto con más cantidad de briquetas para obtener resultados más certeros, ya que con un mayor número de ensayos se puede obtener un análisis estadístico el mismo que permitirá analizar mejor los resultados.
- Se considera muy práctico la utilización de los criterios propuestos por el Centro de Investigaciones de Carreteras de Bélgica y el de tracción indirecta, ya que estos utilizan los resultados de la aplicación de una sola carga hasta la rotura, mientras que en los demás métodos utilizan información adicional, por ello es recomendable utilizarlos para realizar estudios similares.
- Es conveniente profundizar sobre el comportamiento y clasificación de muestras asfálticas respecto a los nuevos ensayos y procedimientos que se realizan en países más desarrollados, para que los resultados se caractericen por tener menores errores y puedan reemplazar a ensayos que son de alto costo y de tiempo largo de duración.



# BIBLIOGRAFÍA

1. ALARCÓN, J; “Estudio sobre el comportamiento a fatiga de mezclas bituminosas recicladas en caliente mediante el ensayo a flexotracción dinámica”; México, 2001.
2. CASTRO, M; SÁNCHEZ, J.A; “Aplicación del Análisis de la Varianza al Estudio de Leyes de Fatiga de Mezclas Bituminosas”, Universidad Politécnica de Madrid, Revista de Obras Públicas, abril 2003 No. 3.432.
3. DUSSÁN, E; FLAUTERO, F; “Automatización de Ensayos Dinámicos del Laboratorio de Pavimentos en el Equipo N.A.T (Nottingham Asphalt Tester) de la Pontificia Universidad Javeriana”; Proyectos de Grado Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C; 2005.
4. TORRES, E. MILTON; “Diseño de Pavimentos para carreteras y Aeropuertos” Editorial ESPE; Ecuador; 1989.
5. GARNICA, P; ITANDEHUI, G; PRADO, E; “Algunos Aspectos de la Resistencia a la Tensión y Fatiga en Suelos Arcillosos Estabilizados con Cal” Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 230; Sanfandila, Qro.,2003

6. GARNICA, P; GÓMEZ, J.A; SESMA, J; “Mecánica de Materiales para Pavimentos” Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 190; Sanfandila, Qro.,2002
7. HIDALGO, F; “Definición Moderna de los Pavimentos para el diseño de Pavimentos”; Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil; Escuela Politécnica del Ejército; Abril 2007.
8. LEIZER, L; “Pavimentos “Escuela Nacional de Ingeniería de la Universidad Federal de Río de Janeiro”; Brasil/ 1963.
9. PÉREZ, E; “Ensayos de Mezclas Bituminosas. Criterios de Diseño. Nuevas Propuestas”; Universidad Politécnica de Catalunya.
10. REYES, L; ALBERTO, F; “Diseño Racional de Pavimentos” Especificaciones Técnicas Ministerio de Obras Públicas, TOMO I
11. TORRES, M; “Curso de diseño de pavimentos para carreteras y aeropuertos”, APUNTES DE CLASES, Sangolquí – Ecuador, 2008.
12. VERGARA, H; “Diseño Directo de Pavimentos Flexibles”; Madrid, 2001

13. Especificaciones Técnicas Ministerio de Obras Públicas, TOMO I

14. BENAVIDES, C; CHAVARRO, E; “ Caracterización de Asfaltos y Mezclas  
Asfálticas” ; Popayán, 1994

# ANEXOS

# ANEXO I

## ENSAYO DE CÁNTABRO

### GENERALIDADES

En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas es la resistencia a la abrasión o desgaste.

Esta es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá mezcla asfáltica para la fabricación de pavimentos. El ensayo que se aplicará nos dará a conocer el porcentaje de desgaste que este sufrirá en condiciones de roce continuo. Esto nos indica si el porcentaje de bitumen es el adecuado para el diseño de mezcla asfáltica para la fabricación carretera.

### MATERIAL Y EQUIPOS

- Balanza. Un aparato sensible, fácil de leer, con precisión del 0.05% de la masa de la muestra en cualquier punto dentro del rango usado para este ensayo.
- Briquetas, con diferentes agregados y diferente porcentaje de bitumen.
- Maquina de los Ángeles. Aparato especificado por la Norma ICONTEC 98.
- Agua.
- Balde

## ESQUEMA



**Fig. I** Máquina de los Ángeles

## MARCO TEÓRICO

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Para determinar la dureza se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Normas ICONTEC 93 y Norma ICONTEC 98 para los agregados gruesos. Dicho método es más conocido como el de la Máquina de los Ángeles.

En el ensayo de resistencia a la abrasión o al desgaste se utiliza la Máquina de los Ángeles. Esta es un aparato constituido por un tambor cilíndrico hueco de acero de 500 mm de longitud y 700 mm de diámetro aproximadamente, con su eje horizontal fijado a un dispositivo exterior que puede transmitirle un movimiento de rotación alrededor del eje. El tambor tiene una abertura para la introducción del material de ensayo y de la

carga abrasiva; dicha abertura está provista de una tapa que debe reunir las siguientes condiciones:

- Asegurar un cierre hermético que impida la pérdida del material y del polvo.
- Tener la forma de la pared interna del tambor, excepto en el caso de que por la disposición de la pestaña que se menciona más abajo, se tenga certeza de que el material no puede tener contacto con la tapa durante el ensayo.
- Tener un dispositivo de sujeción que asegure al mismo tiempo la fijación rígida de la tapa al tambor y su remoción fácil.

El tambor tiene fijada interiormente y a lo largo de una generatriz, una pestaña o saliente de acero que se proyecta radialmente, con un largo de 90 mm aproximadamente. Esta pestaña debe estar montada mediante pernos u otros medios que aseguren su firmeza y rigidez. La posición de la pestaña debe ser tal que la distancia de la misma hasta la abertura, medida sobre la pared del cilindro en dirección de la rotación, no sea menor de 1250 mm. La pestaña debe reemplazarse con un perfil de hierro en ángulo fijado interiormente a la tapa de la boca de entrada, en cuyo caso el sentido de la rotación debe ser tal que la carga sea arrastrada por la cara exterior del ángulo.

## **PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO**

- El primer paso consiste en tomar el peso de las briquetas, secas también húmedas de dos y cinco días.
- Se coloca una briqueta dentro del tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente.

- Se cierra muy bien la tapa, asegurándose que no salga nada de residuos.
- Se le aplica un número determinado de revoluciones, en este caso son 300 revoluciones
- Finalmente se saca la briqueta del tambor se pesa.

### **DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE**

El choque de la briqueta en la máquina de los ángeles da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = [P_a - P_b] / P_a$$


Donde:

$P_a$  = masa de la muestra seca antes del ensayo

$P_b$  = masa de la muestra después del ensayo.



**REGISTROS DE ENSAYO DE CÁNTABRO**

		<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS <b>ENSAYO DE CÁNTABRO</b>	
FECHA: 18/06/2008		PROCESO: Anexo 1	
MUESTRA Nº: 4-22		TIPO DE MUESTRA: Seca	
A	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6,5
B	ALTURA	cm	7,64
C	DIÁMETRO	cm	10,32
W	PESO EN EL AIRE	g	1,477
W1	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,326
W2=W-W1	PESO PERDIDO	g	0,151
W3	% PESO PERDIDO	%	10,223
<b>OBSERVACIONES:</b> _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____			
ENSAYO: Galo Rodríguez S		REVISÓ	



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

<b>FECHA:</b> 18/06/2008		<b>PROCESO:</b>	Anexo 1
--------------------------	--	-----------------	---------

<b>MUESTRA Nº:</b> 19	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Seca
-----------------------	------------------------------

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
<b>B</b>	ALTURA	cm	7,64
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,3
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,256
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,231
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,025
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	1,990

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	
------------------------------------	---------------	--



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

**FECHA:** 18/06/2008

**PROCESO:**

Anexo 1

**MUESTRA Nº:** 4-03

**TIPO DE MUESTRA:** Seca

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
<b>B</b>	ALTURA	cm	7,14
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,34
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,366
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,222
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,144
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	10,542

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ENSAYO:**  
Galo Rodríguez S

**REVISÓ**



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

FECHA: 18/06/2008

PROCESO:

Anexo 1

MUESTRA Nº: 3

TIPO DE MUESTRA: Seca

A	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	5
B	ALTURA	cm	5,56
C	DIÁMETRO	cm	10,26
W	PESO EN EL AIRE	g	1,179
W1	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,150
W2=W-W1	PESO PERDIDO	g	0,029
W3	% PESO PERDIDO	%	2,460

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ENSAYO:  
Galo Rodríguez S

REVISÓ



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

**FECHA:** 18/06/2008

**PROCESO:**

Anexo 1

**MUESTRA Nº:** 4-15

**TIPO DE MUESTRA:** Húmeda - 2 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6,5
<b>B</b>	ALTURA	cm	7,1
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,38
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,378
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,288
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,090
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	6,531

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ENSAYO:**  
Galo Rodríguez S

**REVISÓ**



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

FECHA: 18/06/2008

PROCESO:

Anexo 1

MUESTRA Nº: 18

TIPO DE MUESTRA: Húmeda - 2 días

A	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
B	ALTURA	cm	7,22
C	DIÁMETRO	cm	10,3
W	PESO EN EL AIRE	g	1,261
W1	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,232
W2=W-W1	PESO PERDIDO	g	0,029
W3	% PESO PERDIDO	%	2,300

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ENSAYO:  
Galo Rodríguez S

REVISÓ



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

**FECHA:** 18/06/2008

**PROCESO:**

Anexo 1

**MUESTRA Nº:** 4-31-05

**TIPO DE MUESTRA:** Húmeda - 2 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
<b>B</b>	ALTURA	cm	6,78
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,38
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,332
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,221
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,111
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	8,333

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ENSAYO:**  
Galo Rodríguez S

**REVISÓ**



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

<b>FECHA:</b> 18/06/2008		<b>PROCESO:</b>	Anexo 1
--------------------------	--	-----------------	---------

**MUESTRA Nº:** 10 **TIPO DE MUESTRA:** Húmeda- 2 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	5
<b>B</b>	ALTURA	cm	6,4
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,26
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,087
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,031
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,056
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	5,152

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	
------------------------------------	---------------	--





**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

**FECHA:** 18/06/2008

**PROCESO:**

Anexo 1

**MUESTRA N°:** 4-16

**TIPO DE MUESTRA:** Húmeda- 5 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6,5
<b>B</b>	ALTURA	cm	6,78
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,30
<b>W</b>	PESO EN EL AIRE	g	1,346
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,028
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,318
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	23,626

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ENSAYO:**

Galo Rodríguez S

**REVISÓ**



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

<b>FECHA:</b> 18/06/2008		<b>PROCESO:</b>	Anexo 1
--------------------------	--	-----------------	---------

**MUESTRA Nº:** 17 **TIPO DE MUESTRA:** Húmeda- 5 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
<b>B</b>	ALTURA	cm	7,00
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,18
<b>W</b>	PESO SUMERGIDO	g	1,206
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1,068
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,138
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	11,443

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	
------------------------------------	---------------	--



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**ENSAYO DE CÁNTABRO**

**FECHA:** 18/06/2008

**PROCESO:**

Anexo 1

**MUESTRA Nº:** 4-30

**TIPO DE MUESTRA:** Húmeda- 5 días

<b>A</b>	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	6
<b>B</b>	ALTURA	cm	6,32
<b>C</b>	DIÁMETRO	cm	10,36
<b>W</b>	PESO SUMERGIDO	g	1,189
<b>W1</b>	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	0,922
<b>W2=W-W1</b>	PESO PERDIDO	g	0,267
<b>W3</b>	% PESO PERDIDO	%	22,456

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ENSAYO:**  
Galo Rodríguez S

**REVISÓ**

		<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b> <b>ENSAYO DE CÁNTABRO</b>	
FECHA: 18/06/2008		PROCESO:	Anexo 1
MUESTRA Nº: 6		TIPO DE MUESTRA: Húmeda- 5 días	
A	PORCENTAJE DE ASFALTO	%	5
B	ALTURA	cm	5,84
C	DIÁMETRO	cm	10,28
W	PESO SUMERGIDO	g	1,012
W1	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO	g	0,968
W2=W-W1	PESO PERDIDO	g	0,044
W3	% PESO PERDIDO	%	4,348
OBSERVACIONES: _____ _____ _____ _____ _____			
ENSAYO: Galo Rodríguez S		REVISÓ	

Fuente: Autor

# ANEXO II

## ENSAYO DE COMPRESIÓN

### GENERALIDADES

El ensayo de compresión consiste en aplicar a la briqueta, en la dirección de su eje longitudinal, una carga estática que tiende a provocar un acortamiento de la misma y cuyo valor se irá incrementando hasta la rotura o suspensión del ensayo.

Es posible deducir que los materiales frágiles (fundición) rompen prácticamente sin deformarse, y los dúctiles, en estos materiales el ensayo carece de importancia, ya que se deforman continuamente hasta la suspensión de la aplicación de la carga, siendo posible determinar únicamente, a los efectos comparativos, la tensión al límite de proporcionalidad.

### MATERIAL Y EQUIPOS

- Balanza, con precisión del 0.05%.
- Briquetas, con diferentes agregados y diferente porcentaje de bitumen.
- Maquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión.
- Agua.
- Balde
- Deformímetros
- Cilindro
- Placa

## ESQUEMA



**Fig. II** Máquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión simple

## MARCO TEÓRICO

En los ensayos de compresión, la forma de la probeta tiene gran influencia, por lo que todos ellos son de dimensiones normalizadas.

El rozamiento con los platos de la máquina hace aparecer, un estado de tensión compuesta que aumenta la resistencia del material, la influencia de estas tensiones va disminuyendo hacia la sección media de la probeta, razón por la cual se obtiene mejores condiciones de compresión simple cuando están se presenta con forma prismáticas o cilíndricas de mayores alturas, las que se limitan, para evitar el efecto del flexionamiento lateral debido al pandeo.

## PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

### Primera parte.

- Se tomar el peso, área, altura, de las briquetas, secas también húmedas de dos y cinco días.
- Se someter a compresión simple una probeta cilíndrica, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura.
- La velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme
- Se toma el valor en el cual la briketa se rompe.
- Se repite el mismo procedimiento en todas las demás briquetas, con las húmedas y las secas

### REGISTROS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA N°: 4-10	TIPO DE MUESTRA: Húmeda % ASFALTO 6,5		
A	ALTURA	cm	7,56
B	DIÁMETRO	cm	10,34
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,97
W	PESO SUMERGIDO	g	1,479
P1	CARGA	T	5,36
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	63,79
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 15	TIPO DE MUESTRA: Húmeda % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	6,96
B	DIÁMETRO	cm	10,30
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,32
W	PESO SUMERGIDO	g	1,225
P1	CARGA	T	5,708
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	68,50
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERIA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 4-26	TIPO DE MUESTRA: Húmeda % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	7,30
B	DIÁMETRO	cm	10,30
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,32
W	PESO SUMERGIDO	g	1,425
P1	CARGA	T	6,222
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	74,67
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			



	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 1	TIPO DE MUESTRA: Húmeda		
% ASFALTO 5			
A	ALTURA	cm	6,10
B	DIÁMETRO	cm	10,26
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	82,68
W	PESO SUMERGIDO	g	1,068
P1	CARGA	T	4,521
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	54,68
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 4-18	TIPO DE MUESTRA: SECA		
% ASFALTO 6,5			
A	ALTURA	cm	6,14
B	DIÁMETRO	cm	10,34
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,97
W	PESO	g	1,173
P1	CARGA	T	6,11
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	72,79
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 16	TIPO DE MUESTRA: SECA % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	7,32
B	DIÁMETRO	cm	10,22
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	82,03
W	PESO	g	1,289
P1	CARGA	T	5,618
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	68,48
ENSAYO: Galo Rodríguez S	REVISÓ	OBSERVACIONES	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 4-21	TIPO DE MUESTRA: SECA % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	6,30
B	DIÁMETRO	cm	10,30
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,32
W	PESO	g	1,226
P1	CARGA	T	7,348
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	88,18
ENSAYO: Galo Rodríguez S	REVISÓ	OBSERVACIONES	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA Nº: 11	TIPO DE MUESTRA: SECA % ASFALTO 5		
A	ALTURA	cm	7,16
B	DIÁMETRO	cm	10,28
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,00
W	PESO	g	1,221
P1	CARGA	T	4,648
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	56,01
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA Nº: A13	TIPO DE MUESTRA: SECA % ASFALTO		
A	ALTURA	cm	5,72
B	DIÁMETRO	cm	10,33
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,81
W	PESO	g	0,978
P1	CARGA	T	4,046
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	48,28
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: A10	TIPO DE MUESTRA: SECA		
% ASFALTO			
A	ALTURA	cm	5,22
B	DIÁMETRO	cm	10,37
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	84,46
W	PESO	g	0,906
P1	CARGA	T	6,137
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	72,67
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: A5	TIPO DE MUESTRA: SECA		
% ASFALTO			
A	ALTURA	cm	10,00
B	DIÁMETRO	cm	10,10
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	80,12
W	PESO	g	1,681
P1	CARGA	T	5,364
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	68,30
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

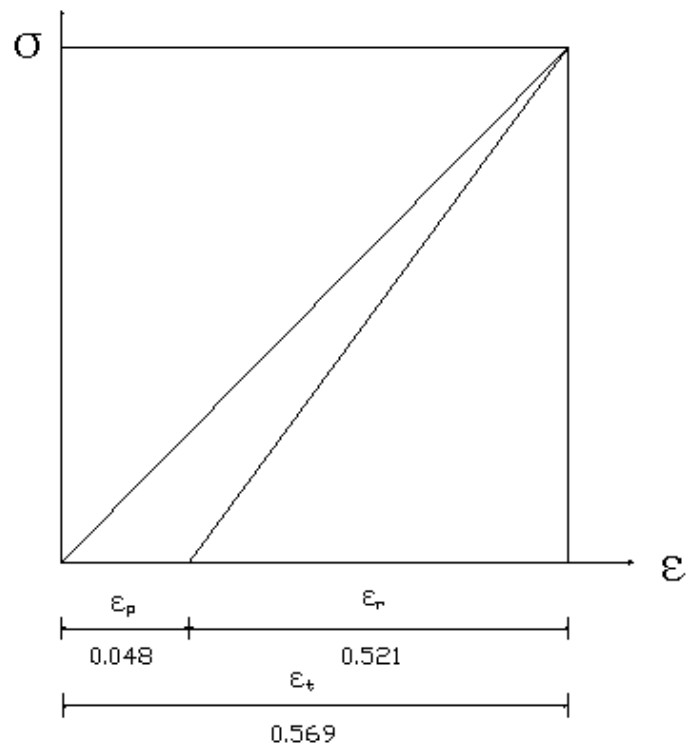
Fuente: Autor

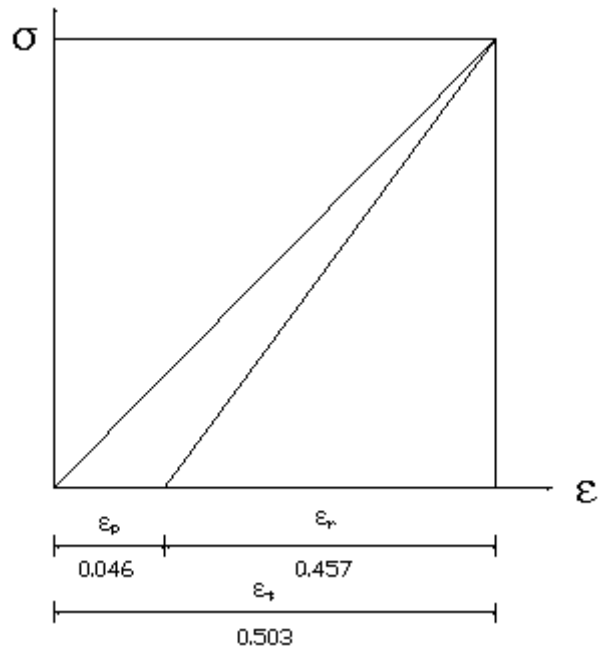
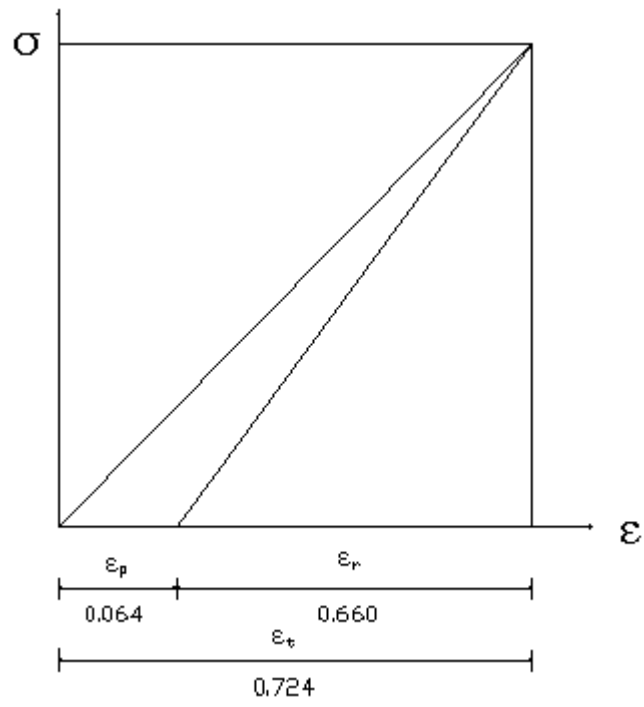
## Segunda parte

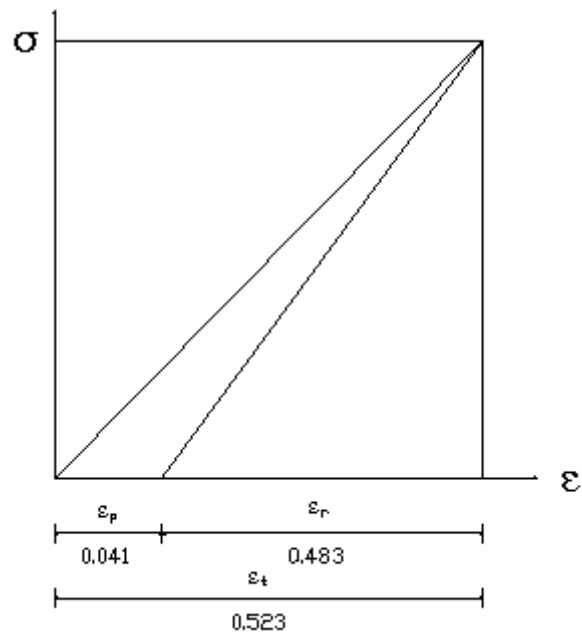
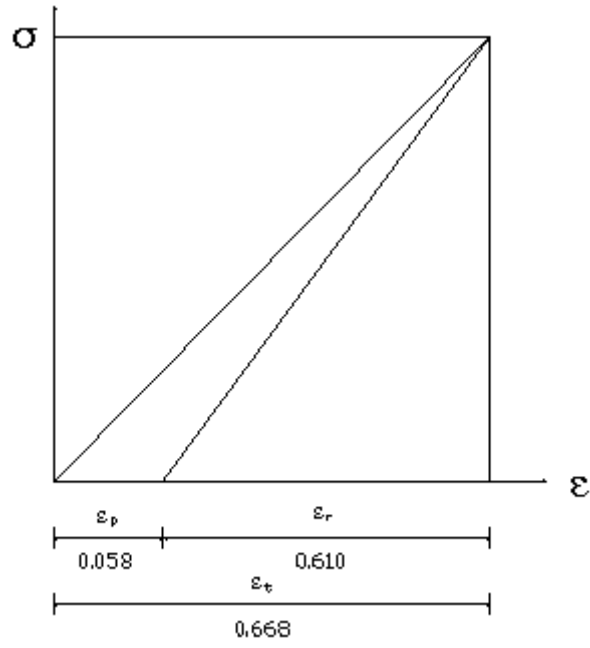
- Se tomar el peso, área, altura, de las briquetas.
- Se pone la briketa en el molde y en la parte superior se coloca una placa para que la carga sea uniforme.
- Se someter a compresión confinada en un molde metálico, las briquetas aplicando una carga de  $7 \text{ Kg/cm}^2$ , que corresponde a la presión de inflado de un vehículo pesado.
- Se mide la deformación que se produjo al aplicar esta carga.
- Después se retira la carga y se mide en el deformímetro la deformación permanente que se mide después de aplicar la carga.

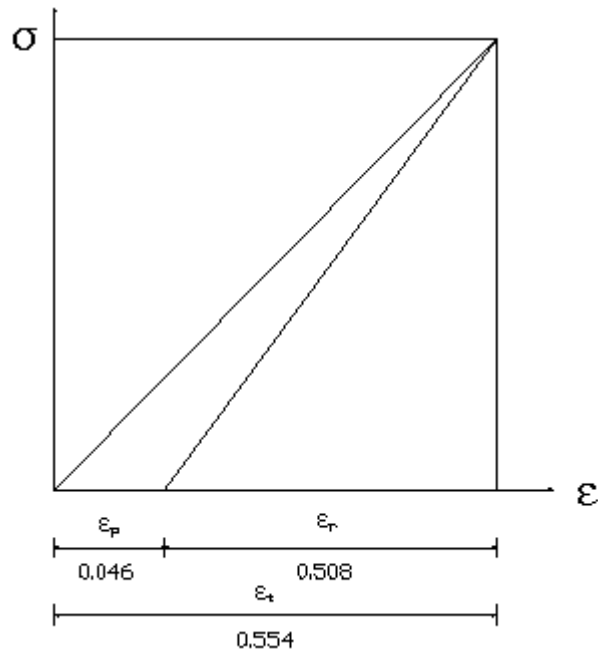
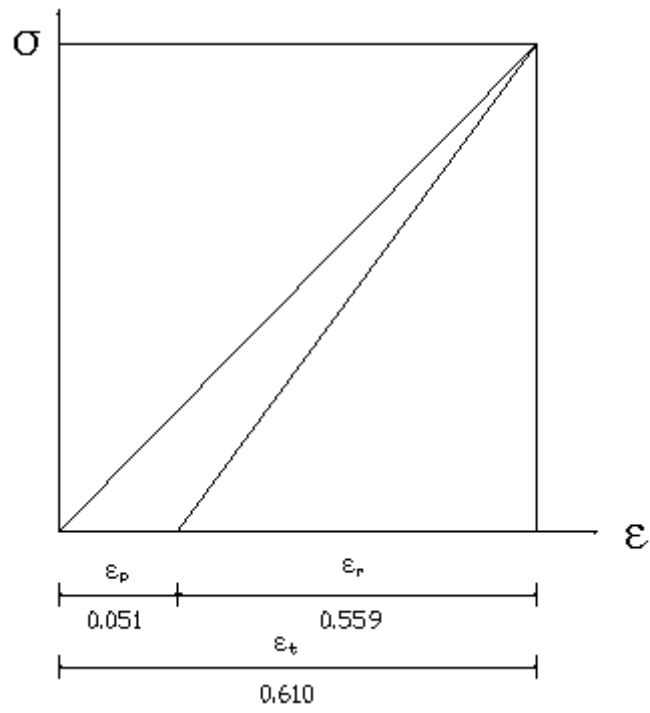
Los resultados de este ensayo se muestran a continuación:

### REGISTROS DE ENSAYO DE COMPRSIÓN CONFINADA

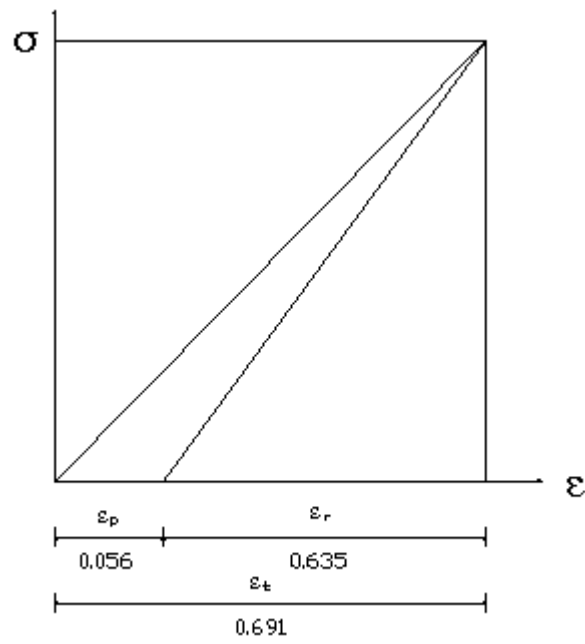
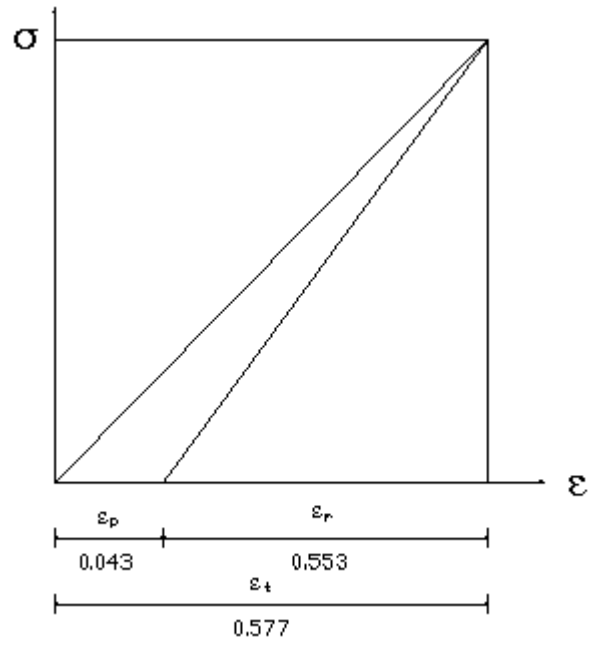


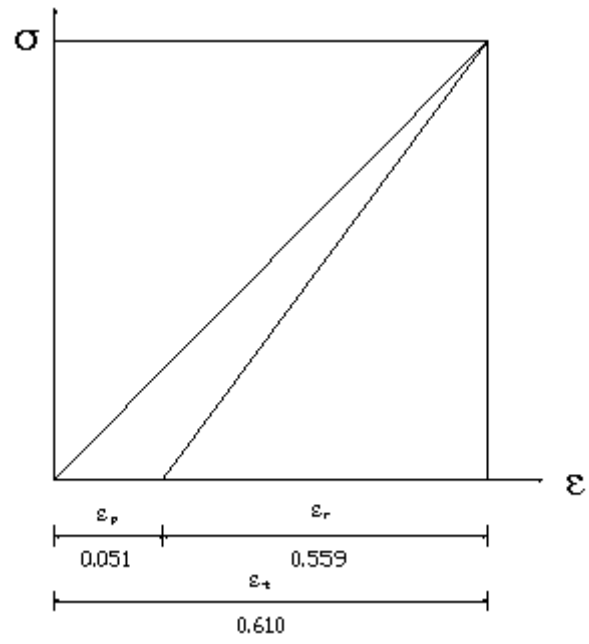












# ANEXO III

## ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

### GENERALIDADES

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

Consiste en aplicar cargas de compresión diametral de este modo se desarrollan unas tensiones de tracción uniformes a lo largo del plano determinado por las generatrices de aplicación de la carga. Las aplicaciones del ensayo de tracción indirecta son:

- Diseño de mezclas
- Determinación de especificaciones de productos finales
- Evaluación de nuevos materiales
- Investigación de fisuras
- Evaluación del pavimento – control de calidad

### MATERIAL Y EQUIPOS

- Balanza, con precisión del 0.05%.
- Briquetas, con diferentes agregados y diferente porcentaje de bitumen.
- Máquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión.
- Agua.

- Balde
- 2 placas ( 2,5 cm)

## ESQUEMA



**Fig. III** Máquina hidráulica Amsler Wolpert de compresión.

## MARCO TEÓRICO

Las principales ventajas del ensayo son:

- Es un ensayo relativamente sencillo.
- Presenta similitud con otro tipo de ensayos como el Marshall.
- El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otro tipo de ensayos.
- La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la probeta.
- La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.

- El coeficiente de variación de los resultados del ensayo es relativamente bajo comparado con otros métodos. Son dispersiones inferiores al 10% en comparación con el de Marshall que pueden ser del 15-20%.
- El ensayo puede utilizarse bajo carga estática o dinámica, modificando la prensa en función del tipo de estudio que se realice.

### **PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO**

- Se tomar el peso, área, altura, de las briquetas, secas también húmedas de dos y cinco días.
- Se somete a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura.
- Se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, de 12,7 o 25,4 mm de ancho, para que la distribución de tensiones no se altere significativamente
- La velocidad de desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme e igual a 50,8 mm/min, igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall.
- Se toma el valor en el cual la briqueta se rompe.

## REGISTROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: 4-14	TIPO DE MUESTRA: HÚMEDAS		
% ASFALTO 6,5			
A	ALTURA	cm	6,48
B	DIÁMETRO	cm	10,31
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,48
W	PESO	g	1,276
P1	CARGA	T	0,980
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	9,34
ENSAYO: Galo Rodríguez S	REVISÓ	OBSERVACIONES	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: 20	TIPO DE MUESTRA: HÚMEDAS		
% ASFALTO 6			
A	ALTURA	cm	7,10
B	DIÁMETRO	cm	10,26
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	82,68
W	PESO	g	1,244
P1	CARGA	T	1,002
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	8,76
ENSAYO: Galo Rodríguez S	REVISÓ	OBSERVACIONES	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 4 <sub>5</sub> -22	TIPO DE MUESTRA: HÚMEDAS		
% ASFALTO 6			
A	ALTURA	cm	6,68
B	DIÁMETRO	cm	10,32
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,65
W	PESO	g	1,300
P1	CARGA	T	1,152
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	10,64
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008		PROCESO:	Anexo 2
MUESTRA Nº: 9	TIPO DE MUESTRA: HÚMEDAS		
% ASFALTO 5			
A	ALTURA	cm	6,22
B	DIÁMETRO	cm	10,20
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	81,71
W	PESO	g	1,027
P1	CARGA	T	0,895
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	8,98
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: 4-25	TIPO DE MUESTRA: SECA  % ASFALTO 6,5		
A	ALTURA	cm	7,18
B	DIÁMETRO	cm	10,33
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,81
W	PESO	g	1,378
P1	CARGA	T	1,185
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	10,17
ENSAYO:		REVISÓ	OBSERVACIONES
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: 21	TIPO DE MUESTRA: SECA  % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	7,40
B	DIÁMETRO	cm	10,28
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,00
W	PESO	g	1,258
P1	CARGA	T	1,280
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	10,71
ENSAYO:		REVISÓ	OBSERVACIONES
Galo Rodríguez S			



	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA Nº: 4 <sub>5</sub> -19	TIPO DE MUESTRA: SECA  % ASFALTO 6		
A	ALTURA	cm	7,44
B	DIÁMETRO	cm	10,32
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,65
W	PESO	g	1,443
P1	CARGA	T	1,390
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	11,53
ENSAYO: Galo Rodríguez S		REVISÓ	OBSERVACIONES

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA Nº: 8	TIPO DE MUESTRA: SECA  % ASFALTO 5		
A	ALTURA	cm	6,81
B	DIÁMETRO	cm	10,16
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	81,07
W	PESO	g	1,169
P1	CARGA	T	1,003
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	9,23
ENSAYO: Galo Rodríguez S		REVISÓ	OBSERVACIONES

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: A4	TIPO DE MUESTRA: SECA		
		% ASFALTO	5
A	ALTURA	cm	13,30
B	DIÁMETRO	cm	10,28
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	83,00
W	PESO	g	2,177
P1	CARGA	T	0,590
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	2,75
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
FECHA: 25/06/2008			PROCESO: Anexo 2
MUESTRA N°: A1	TIPO DE MUESTRA: SECA		
		% ASFALTO	5
A	ALTURA	cm	6,81
B	DIÁMETRO	cm	10,20
C	ÁREA	cm <sup>2</sup>	81,71
W	PESO	g	1,094
P1	CARGA	T	0,842
P2	CARGA	Kg/cm <sup>2</sup>	7,72
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>		
<b>FECHA:</b> 25/06/2008			<b>PROCESO:</b> Anexo 2
<b>MUESTRA N°:</b> A3	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> SECA		
	<b>% ASFALTO</b>		5
<b>A</b>	<b>ALTURA</b>	cm	6,20
<b>B</b>	<b>DIÁMETRO</b>	cm	10,16
<b>C</b>	<b>ÁREA</b>	cm <sup>2</sup>	81,07
<b>W</b>	<b>PESO</b>	g	1,034
<b>P1</b>	<b>CARGA</b>	T	2,110
<b>P2</b>	<b>CARGA</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	21,32
<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	

**Fuente:** Autor

# ANEXO IV

## ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL

### GENERALIDADES

El método Marshall se emplea para dosificar mezclas en caliente de agregados pétreos y cemento asfáltico con o sin la adición de llenante mineral. El método puede utilizarse tanto para diseños en laboratorio como para controles de campo.

El objetivo del diseño de una mezcla asfáltica es determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla, que asegure que esté presente:

- Suficiente estabilidad como para satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones.
- Suficiente asfalto para asegurar la obtención de un pavimento durable que resulte del recubrimiento completo de las partículas de agregado pétreo, impermeabilizando y ligando las mismas entre si, bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una eficiente colocación de la mezcla con que se pavimentará, sin que se produzca segregación.

## **EQUIPO PARA EL ENSAYO**

- Marcador o creyón
- Par de guantes asbesto
- Una escala de medida en décimas de mm. ( $\times 10^{-1}$ )
- Prensa de carga
- Medidor de deformaciones
- Mordazas para briquetas
- Material auxiliar.
- Guantes de protección
- Termómetro tipo dial con sensibilidad de 2 °C.
- Cronómetro
- Vernier
- Baño María
- Anillo de carga y medidor (Estabilidad)
- Ventilador modelo de mesa
- Bandeja de 60 \* 60 \* 5 cm.
- Moldes, placas de base y collares de extensión
- Cuchara grande
- Anillo de carga y medidor
- Prensa
- Balanza de 2 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0.1 gr.
- Balanza de 5 Kg. de capacidad con sensibilidad de 0.5 gr. y apta para suspender muestras en agua.

- Toalla para secar las briquetas

## ESQUEMA



**Fig. IV** Briquetas en baño maría y ensayo marshall

## MARCO TEÓRICO:

El método marshall tal como se usó y desarrolló por el U.S. Army Corps of Engineers, sólo es aplicable a las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos obtenidos empleando cemento asfáltico y agregado cuyo tamaño máximo es de una pulgada o menor.

El método puede emplearse tanto para proyecto en el Laboratorio como para control en la obra de las mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Hay que tener presente los siguientes criterios:

El flujo es el movimiento o deformación total que se producen la briqueta desde el comienzo hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad, expresado en centésimas de pulgada.

La estabilidad de las briquetas es la máxima carga en libras que puede resistir la briketa normalizada a 60 °C (140°F) cuando se realiza el ensayo de rotura a compresión de la forma que se indica en el método.

## **PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO**

- Colocamos en cero la lectura del medidor de deformaciones (Este ajuste en la varilla de guía marcada con un cero y con el lado del elemento superior de las mordazas señalando con un cero en el mismo lado que la varilla de guía marcada de este modo), para lo cual se coloca provisionalmente un cilindro metálico o de madera de exactamente 4” de diámetro en las mordazas de carga.
- La briketa debe ser calentada en baño maría a 60 °C (140°F) durante un tiempo no inferior a 40 minutos.
- Procedemos a limpiar correctamente las superficies interiores de las mordazas. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero. Nuevamente debemos tener en cuenta que la temperatura de estas se debe mantener entre 21°C y 38°C; si es inferior, deberán ser calentadas en baño maría hasta alcanzar dicha temperatura.
- La briketa después del baño debe ser secada su superficie con un paño. Colocamos a esta centrada sobre la mordaza superior y el conjunto se sitúa

centrado en la presa. El medidor de flujo se coloca sobre la varilla de guía marcada.

- Se aplica entonces la carga a la briqueta a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60°C (150°F) se anota como valor de estabilidad marshall.

Durante el ensayo de estabilidad se debe mantener firme el medidor de deformaciones (flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta expresado en centésimas de pulgada.

Todo lo anteriormente expuesto debe ser realizado en un tiempo no mayor de 30 segundos para evitar pérdida de temperatura en la briqueta.



**REGISTROS DE ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL**

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 45-27	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 6,5*		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1526
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	758
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	768
F	FLUJO		9
L	LECTURA MARSHALL	Kg	735,00
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	1,978
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 47-11	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 6,5*		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1280
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	649
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	631
F	FLUJO		7
L	LECTURA MARSHALL	Kg	390,30
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,029
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008			PROCESO: Anexo 4
MUESTRA Nº: 4 <sub>6</sub> -20	TIPO DE MUESTRA: <div style="text-align: right;">% ASFALTO 6,5*</div>		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1268
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	651
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	617
F	FLUJO		7
L	LECTURA MARSHALL	Kg	485,8
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,055
ENSAYO:		REVISÓ	OBSERVACIONES
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008			PROCESO: Anexo 4
MUESTRA Nº: 7	TIPO DE MUESTRA: <div style="text-align: right;">% ASFALTO 5*</div>		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1200
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	636
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	564
F	FLUJO		6
L	LECTURA MARSHALL	Kg	403,76
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,128
ENSAYO:		REVISÓ	OBSERVACIONES
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 4	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 5*		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1171
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	682
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	489
F	FLUJO		7
L	LECTURA MARSHALL	Kg	546,84
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,395
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 2	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 5*		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1113
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	538
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	575
F	FLUJO		5
L	LECTURA MARSHALL	Kg	323,40
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	1,904
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 12	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 6		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1211
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	706
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	505
F	FLUJO		8
L	LECTURA MARSHALL	Kg	609,56
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,120
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: 13	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO 6		
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1264
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	663
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	601
F	FLUJO		6
L	LECTURA MARSHALL	Kg	506,26
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,103
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
<b>FECHA:</b> 08/08/2008			<b>PROCESO:</b> Anexo 4
<b>MUESTRA N°:</b> 14	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> <div style="text-align: right;">% ASFALTO 6</div>		
<b>W<sub>1</sub></b>	<b>PESO AIRE</b>	g	1265
<b>W<sub>2</sub></b>	<b>PESO SUMERGIDO</b>	g	638
<b>V</b>	<b>VOLÚMEN</b>	cm <sup>3</sup>	627
<b>F</b>	<b>FLUJO</b>		7
<b>L</b>	<b>LECTURA MARSHALL</b>	Kg	489,97
<b>B</b>	<b>DENSIDAD BULK</b>	g/cm <sup>3</sup>	2,084
<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
<b>FECHA:</b> 08/08/2008			<b>PROCESO:</b> Anexo 4
<b>MUESTRA N°:</b> 4-28	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> <div style="text-align: right;">% ASFALTO 6,5</div>		
<b>W<sub>1</sub></b>	<b>PESO AIRE</b>	g	1402
<b>W<sub>2</sub></b>	<b>PESO SUMERGIDO</b>	g	795
<b>V</b>	<b>VOLÚMEN</b>	cm <sup>3</sup>	607
<b>F</b>	<b>FLUJO</b>		4
<b>L</b>	<b>LECTURA MARSHALL</b>	Kg	553,70
<b>B</b>	<b>DENSIDAD BULK</b>	g/cm <sup>3</sup>	2,310
<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA Nº: 4-27	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO		6,5
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1492
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	877
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	615
F	FLUJO		8
L	LECTURA MARSHALL	Kg	631,12
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,426
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA Nº: 4-7-10	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO		6,5
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1353
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	803
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	550
F	FLUJO		7
L	LECTURA MARSHALL	Kg	548,00
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,460
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: A9	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO		5
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1013
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	574
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	439
F	FLUJO		3
L	LECTURA MARSHALL	Kg	213,64
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,308
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
FECHA: 08/08/2008		PROCESO:	Anexo 4
MUESTRA N°: A7	TIPO DE MUESTRA:		
	% ASFALTO		5
W <sub>1</sub>	PESO AIRE	g	1297
W <sub>2</sub>	PESO SUMERGIDO	g	675
V	VOLÚMEN	cm <sup>3</sup>	622
F	FLUJO		5
L	LECTURA MARSHALL	Kg	314,45
B	DENSIDAD BULK	g/cm <sup>3</sup>	2,085
ENSAYO:	REVISÓ	OBSERVACIONES	
Galo Rodríguez S			

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS</b>		
	<b>ENSAYO ESTABILIDAD MARSHALL</b>		
<b>FECHA:</b> 08/08/2008			<b>PROCESO:</b> Anexo 4
<b>MUESTRA N°:</b> A8	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> <div style="text-align: right;"><b>% ASFALTO</b>      5</div>		
<b>W<sub>1</sub></b>	<b>PESO AIRE</b>	<b>g</b>	<b>760</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	<b>PESO SUMERGIDO</b>	<b>g</b>	<b>398</b>
<b>V</b>	<b>VOLÚMEN</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>362</b>
<b>F</b>	<b>FLUJO</b>		<b>6</b>
<b>L</b>	<b>LECTURA MARSHALL</b>	<b>Kg</b>	<b>209,56</b>
<b>B</b>	<b>DENSIDAD BULK</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2,099</b>
<b>ENSAYO:</b> Galo Rodríguez S	<b>REVISÓ</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	

Fuente: Autor



**HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**ELABORADA POR**

---

GALO ERNESTO RODRÍGUEZ SALAZAR

**COORDINADOR DE LA CARRERA**

---

ING. JORGE ZÚÑIGA

**DIRECTORA DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO**

---

AB. LAURA LÓPEZ

Sangolquí, 12 Diciembre de 2008