

126 pag.

620

Asfalto  
Control de calidad  
Laja

620.196  

---

620

620 x 1712 v

620.196  
553.27  
621.96

Asfalto  
620.196  
553.62



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS  
MEDIANTE EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA  
TRACCIÓN INDIRECTA”.**

TESIS DE GRADO PREVIA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIEROCIVIL.

**AUTORES:**

*Carlos Efraín Peralta Güilcamaigua.*

*Milton Eduardo Quituxaca Quexada*

**DIRECTOR:**

*Ing. Alonso R. Linares S.*

LOJA - ECUADOR

2006



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2017

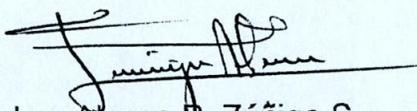
## CERTIFICACION

Ing. Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez.

Certifica:

Que el presente trabajo de investigación previo al título de Ingeniero Civil titulado **“Evaluación de mezclas bituminosas mediante el Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta”**, realizado por los señores Milton E. Quituzaca Q. y Carlos E. Peralta G., ha sido revisado minuciosamente el mismo que posee la suficiente profundidad investigativa, así como el cumplimiento de la reglamentación requerida por parte de la Escuela de Ingeniería Civil; autorizo su presentación a la Dirección de la Escuela, para los fines legales pertinentes.

Loja, 12 de mayo de 2006

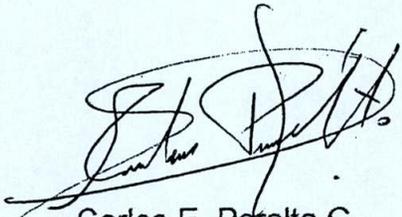


Ing. Alonso R. Zúñiga S.

DIRECTOR DE TESIS

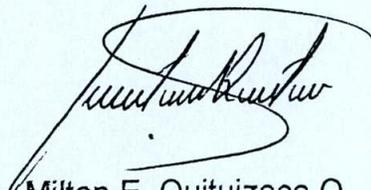
## CESIÓN DE DERECHOS

“Nosotros, CARLOS EFRAIN PERALTA GUILCAMAIGUA y MILTON EDUARDO QUITUIZACA QUEZADA declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “ Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional operativo de la Universidad”.



Carlos E. Peralta G.

**AUTOR**

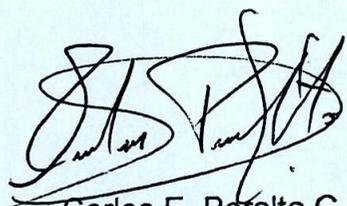


Milton E. Quitizaca Q.

**AUTOR**

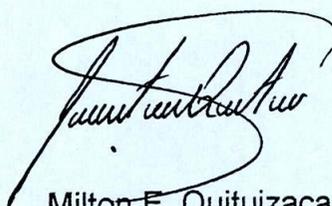
## AUTORIA

Las ideas, conceptos, cálculos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, así como su originalidad, son de exclusiva responsabilidad de los autores.



Carlos E. Peralta G.

AUTOR



Milton E. Quitizaca Q.

AUTOR

## **AGRADECIMIENTO**

Al haber culminado el presente trabajo investigativo, fruto de un constante esfuerzo hacemos ostensible un imperecedero agradecimiento a las autoridades y profesores de la Universidad Técnica Particular de Loja por habernos brindado la oportunidad de realizarnos profesionalmente en la carrera de ingeniería Civil; de manera especial nuestro agradecimiento al Ing. Alonso R. Zúñiga S. director de tesis por su oportuna y desinteresada orientación, revisiones y sugerencias realizadas en el presente estudio.

Carlos E. Peralta G.  
Milton E. Quituzaca Q.

## DEDICATORIA

A mis padres Vicente y Esperanza, que con su apoyo y fuerza infinita han colmado de bendiciones y deseos de superación, y de manera muy especial a mi novia Diana y a mi querida hija Dayana, que con todo su apoyo y todo su cariño son en mi vida la fortaleza necesaria para seguir adelante, a mis hermanos mis grandes amigos. Gracias a todos por haberme permitido cumplir un sueño que me llena de satisfacción y orgullo.

Milton E. Quituzaca Q.

Con infinito amor dedico esta tesis a mis padres Mariana y Ángel, ya que constituyen en mi vida un ejemplo de superación, quienes me alentaron a luchar por un nuevo amanecer, a mi hermano Norman por su apoyo incondicional y a Dios por haberme permitido seguir viviendo y tener la esperanza de poder forjar una nueva sociedad.

Carlos E. Peralta G.

## INTRODUCCION

Las mezclas asfálticas empleadas en la ejecución de un pavimento flexible deben garantizar su resistencia y durabilidad durante su periodo de diseño. Para ello se establecen requisitos a fin de que las mismas adquieran determinadas características estructurales y funcionales.

En nuestro país el control de calidad de una mezcla asfáltica en caliente se realiza sobre la composición de la mezcla y la determinación de los parámetros obtenidos según el diseño Marshall. Una vez colocada y compactada la mezcla, el control consiste en la extracción de testigos de los cuales se evalúa su densidad y porcentaje de compactación (97 % M.O.P.). Con esta metodología no se considera los parámetros mecánicos de la capa asfáltica una vez ejecutado.

La determinación de la resistencia a la tracción indirecta en las mezclas asfálticas representa un parámetro mecánico que puede ser una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica.

Es por ello que se a desarrollado la presente investigación: **EVALUACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**, para lo cual se planteo los siguientes objetivos:

### **Objetivo General:**

- Evaluar la calidad de las mezclas asfálticas mediante el ensayo de resistencia a la Tracción Indirecta , en testigos extraídos de la Vía Oña – Loja , Tramo 3

## Objetivos Específicos:

- Implementar el ensayo de resistencia a la Tracción Indirecta al control de calidad de mezclas asfálticas.
- Comparar los resultados del Método Marshall de diseño de mezclas, con el ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.
- Analizar los resultados del ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta entre probetas y núcleos extraídos.
- Explicar el ensayo de tracción indirecta; su procedimiento general, resultados y conclusiones del trabajo en laboratorio para nuestro medio.
- Realizar un estudio comparativo entre núcleos y probetas fabricadas en laboratorio.

El presente trabajo esta estructurado en cinco capítulos. Los dos primeros corresponden a estudios preliminares y los tres últimos a la investigación del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.

La metodología que se utilizó para lograr la presente investigación fue la siguiente:

Primero se recavó información utilizando libros, normas, Internet y, folletos sobre el ensayo a utilizarse, lo que nos permitió conocer que variables y factores intervienen en el cálculo, así mismo como el equipo que se va a utilizar para dicho ensayo, su ensamblaje y su procedimiento de prueba.

Se utilizaron 15 probetas de hormigón asfáltico elaboradas en el laboratorio y 34 testigos extraídos del pavimento uno por cada kilómetro. Luego estas muestras fueron analizadas y ensayadas en el laboratorio de la Unidad de Ingeniería Civil y Geominera (UCG).

Al entregar la presente información, pedimos disculpas a los lectores, en especial al tribunal examinador por los errores involuntarios que puedan existir. Nos sometemos a la crítica constructiva y a las observaciones que el caso lo amerite, dejando plasmado un aporte, que sin duda alguna servirá de base y de incentivo para las nuevas generaciones de profesionales de la Ingeniería Civil que la Universidad Técnica entrega a la sociedad.

# **CAPITULO 1**

**MEZCLAS ASFÁLTICAS**



## 1. MEZCLAS ASFÁLTICAS

“El diseño de las mezclas asfálticas consiste, en obtener la mejor combinación entre los agregados pétreos y los materiales asfálticos. A su vez, considera la determinación del espesor necesario que debe tener la mezcla asfáltica para ser usada en pavimentos, de tal manera que resista la acción del tránsito y lo traspase a la base, absorbiendo cierta parte de esta sollicitación, de modo que la base resista el resto de la sollicitación sin estar afectada por deformaciones”.<sup>1</sup>

La mezcla asfáltica debe ser durable, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad.

Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno. Cada una de estas y otras propiedades deseables de las mezclas asfálticas se describe con mayor detalle en el punto 1.7.

Para lograr un buen diseño es importante conocer las propiedades que cumplen los materiales que componen este tipo de mezclas. Entre las características y propiedades a considerar para los materiales se hará una descripción a continuación.

---

<sup>1</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## 1.1 El Asfalto y su Comportamiento.

El asfalto es un material de color negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas normales ambientales, compuestas principalmente por hidrocarburos procedentes de yacimientos naturales o refinación del crudo de petróleo por destilación (separación del crudo en diferentes temperaturas).

Las propiedades físicas y químicas ayudan bastante al asfalto, ya que lo hacen apto para una variedad de aplicaciones en el terreno. Las propiedades del asfalto varían considerablemente con la temperatura, velocidad o duración de las cargas aplicadas, en forma menos considerable influyen características como: origen y métodos de refinación, y de su estado de envejecimiento.

“La complejidad del material asfáltico se debe a su naturaleza orgánica, lo que influye en su comportamiento a través de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. El asfalto puede parecer, a veces, un material elástico y frágil, o bien un fluido Newtoniano con distintas consistencias a temperaturas por sobre los 100 °C. A temperaturas intermedias el asfalto pasa a ser un material visco-elástico.”<sup>2</sup>

En consecuencia, los tipos de comportamiento que puede presentarse en los asfaltos se resumen a continuación:

---

<sup>2</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



### a) Comportamiento Elástico.

El asfalto puede responder como un material elástico a bajas temperaturas y/o sometido a esfuerzos de corta duración, como en el caso de la circulación de vehículos a una alta velocidad. En la práctica, debido a las variaciones de temperatura y tiempo de carga, no es posible determinar un único valor de módulo elástico del asfalto. Según Van der Poel, en su desarrollo sobre el concepto del módulo de rigidez introduce variables como la velocidad de carga, temperatura de trabajo, consistencia y susceptibilidad térmica.

El módulo de rigidez del asfalto ( $S = \text{Stiffness}$ ) se puede expresar en forma análoga a la constante elástica ( $E = \text{módulo de elasticidad}$ ) de la siguiente forma:

Módulo Elástico

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

Módulo de Rigidez

$$S = \frac{\sigma}{\epsilon(T,t)}$$

Donde:

$\epsilon(T,t)$ : deformación unitaria, dependiente de la temperatura  $T$  y del tiempo de aplicación de carga  $t$ .

Cuando se trata de un caso en que las temperaturas son muy bajas y/o los tiempos de carga son muy cortos, las variables “ $T$ ” y “ $t$ ” no contribuyen mayormente a la expresión del módulo de Rigidez, por lo cual “ $S$ ” resulta similar a “ $E$ ”. Fig. 1.1



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

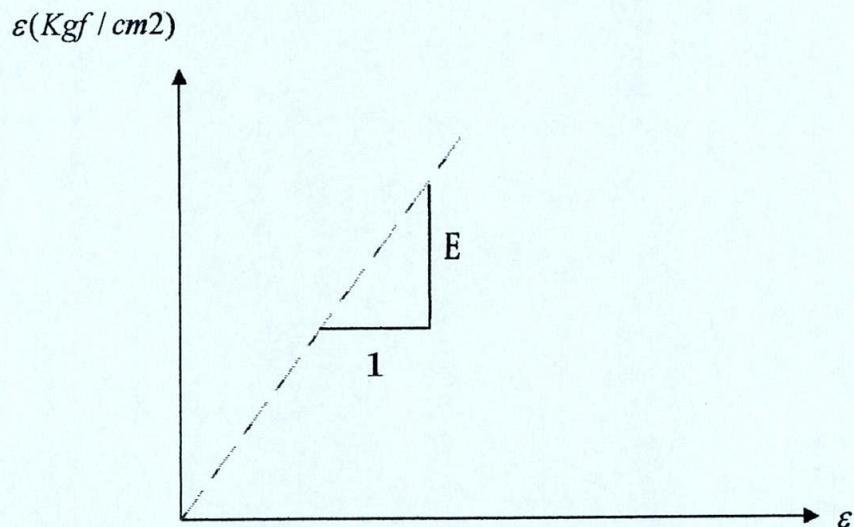
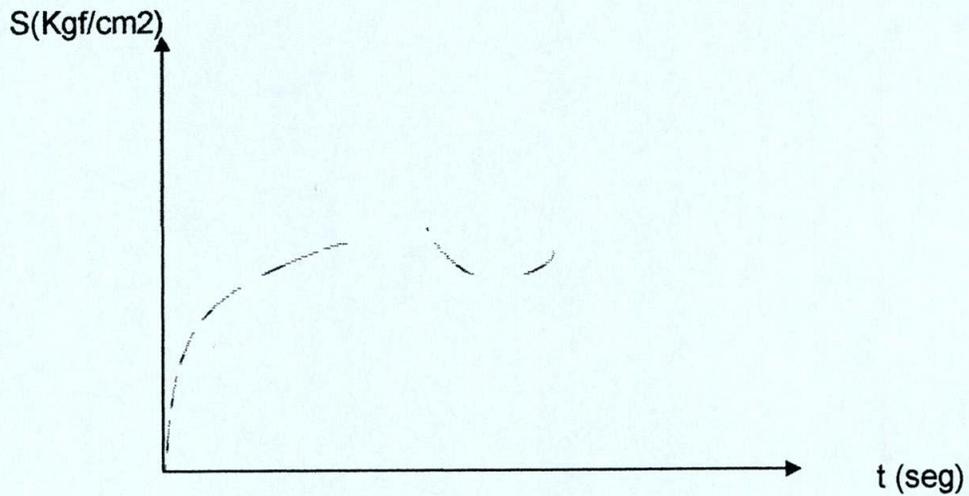


Figura 1.1 Comportamiento Elástico del asfalto.

**b) Comportamiento Visco-elástico.**

Corresponde al caso cuando un asfalto está sometido a temperaturas del rango de los  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (aproximadamente) y los  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (incluso hasta temperaturas cercanas a los  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), es decir, a temperaturas de servicio y bajo la acción de tiempos moderados de carga. Fig. 1.2



$$S = \frac{\sigma}{\varepsilon(T, t)} \quad \eta = f(T, t, \sigma, \varepsilon)$$

**Figura 1.2 Comportamiento Visco-elástico del asfalto.**

Cuando  $\eta$  no depende de  $\sigma$  ó  $\varepsilon$  es visco-elasticidad lineal, que es el modelo considerado en SHRP.

### c) Comportamiento de Fluido Newtoniano.

El coeficiente de viscosidad “ $\eta$ ” de un fluido Newtoniano (que incorpora la ley de viscosidad de Newton) mide su resistencia a fluir y se expresa como:

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\tau}{D}$$

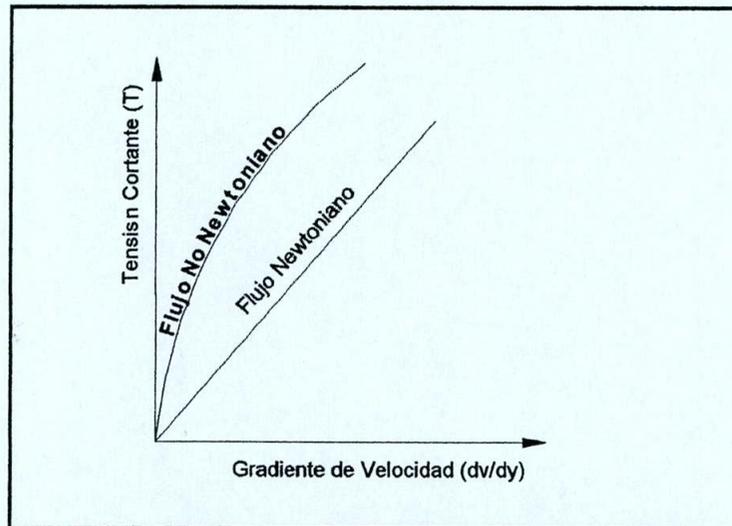
Donde:

$\tau$ : *esfuerzo de corte unitario tangencial.*



$D$  : *gradiente de velocidad de corte.*

En la figura 1.3 se muestra la relación entre “ $\tau$ ” y “ $D$ ” para un material Newtoniano, donde la viscosidad “ $\eta$ ” corresponde a la pendiente de la recta de la relación “ $\tau$  v/s  $D$ ”, siendo independiente del gradiente de velocidad de corte, es decir, independiente de la velocidad de carga.



**Figura 1.3 Comportamiento de Fluido Newtoniano**

La temperatura exacta en la cual un asfalto empieza a tener propiedades de fluido Newtoniano depende del tipo de asfalto y su estado de envejecimiento, factores que están estrechamente vinculados con la estructura, forma y tamaño de las moléculas que componen el material.

Existen distintos tipos de asfalto, pero el que más interesa describir en esta investigación corresponde al cemento asfáltico.



### 1.1.1 Cemento Asfáltico.

El cemento asfáltico es un producto procedente de la refinación del crudo del petróleo, mediante la destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480 °C (900 °F). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo del petróleo que se este refinando, o del grado de asfalto que se este produciendo. “Básicamente, el asfalto esta compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos.

Por ser un material termoplástico (posee un comportamiento rígido a bajas temperaturas o dúctil a temperaturas altas) la acción del calor lo vuelve suficientemente fluido para cubrir en forma completa a los áridos y lograr una buena trabajabilidad entre ellos. Una vez enfriada la mezcla asfáltica alcanzará la resistencia necesaria para responder ante las sollicitaciones de tráfico.

El asfalto confiere las siguientes propiedades a la mezcla:

**Poder Cohesivo:** la cohesión del asfalto proporcionado a la mezcla permite resistir los esfuerzos abrasivos del tráfico. Las cargas presentes en el pavimento, fijas o variables, generan un proceso de deterioro en los materiales asfálticos, el cual se puede disipar a través de la deformación elástica, plástica o en la fisuración que pueda sufrir el agregado mineral.



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

---

---

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

**Adhesividad** (normas: NLT-166/76; ASTM D 1664): corresponde a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación y a la resistencia a la falta de envoltura que opone el asfalto ante la acción del agua.

**Susceptibilidad Térmica:** el comportamiento mecánico del asfalto cambia según la temperatura y la duración de la carga aplicada. Puede tener una respuesta frágil a bajas temperaturas y lapsos cortos de carga (más viscoso). A temperaturas medias y tiempos moderados de aplicación de cargas, la respuesta del material pasa a ser visco-elástica, volviéndose un material con baja consistencia a temperaturas altas (menos viscoso).

**Envejecimiento:** propiedad que está relacionada con el envejecimiento al cual está sometido constantemente el asfalto. El envejecimiento aparece producto de la acción del calor, del aire y de los rayos ultravioletas que provocan oxidación al asfalto tornándolo más frágil.

En general, el cemento asfáltico debe cumplir con ciertas especificaciones como requisitos para ser empleadas en la confección de mezclas asfálticas. Para verificar si estos requisitos se cumplen, los materiales se someten a una serie de ensayos, los que se describen a continuación.



## 1.2 Ensayos para los Cementos Asfálticos

### 1.2.1 Determinación del Punto de Ablandamiento (Mediante Aparato de Anillo y Bola)

**Normas:** LNV 48; AASHTO T53 ; ASTM D36

Este ensayo se realiza a los cementos asfálticos (sólidos), el cual nos indicará el momento en que estos asfaltos se vuelven fluidos.



**Foto 1.1 Determinación del Punto de Ablandamiento Anillo y Bola**

Se utiliza una bola de acero sobre una probeta de asfalto de sección circular conocida, ésta es calentada a una temperatura constante y su punto de ablandamiento corresponderá a la temperatura a la cual el material está suficientemente blando para permitir que la bola caiga una distancia de 25 mm, es decir, el punto representa la temperatura a la cual el cemento asfáltico comienza a fluir.

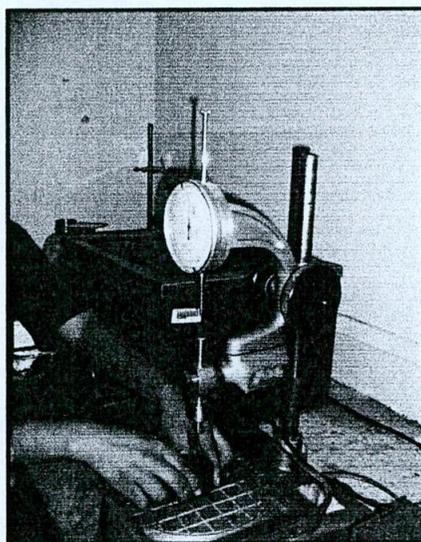


Según las normas del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP), los valores mínimos y máximos para este ensayo deben estar entre 45°C. y 53°C.

### 1.2.2 Determinación de la Penetración

**Normas:** LNV 34 ; AASHTO T49 ; ASTM D5

Este ensayo permite medir la dureza o consistencia relativa del cemento asfáltico. Se mide la distancia que una aguja normalizada puede penetrar verticalmente en una muestra de cemento asfáltico bajo condiciones de temperatura con carga y tiempo controlados.



**Foto 1.2** Ensayo de penetración (100 g, 25 °C, 5 seg.)

Se calienta una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C en un baño de agua calentado termostáticamente. Se hace penetrar en la superficie de la



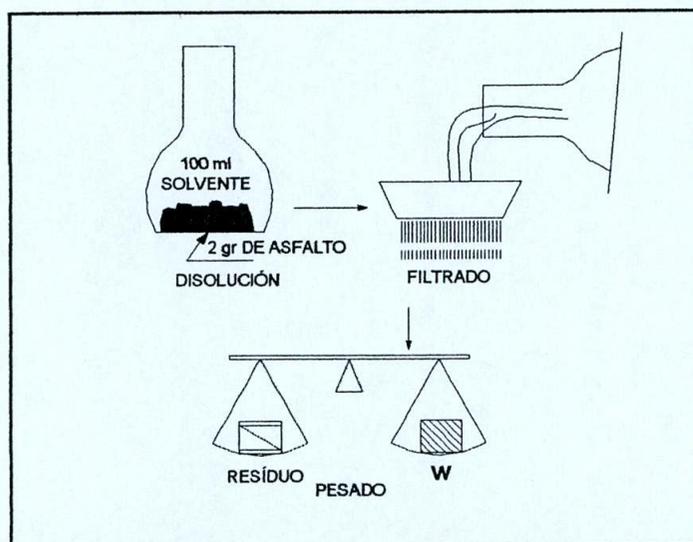
muestra una aguja normalizada con carga de 100grs durante 5 seg. La penetración obtenida se mide en 1/10mm. y debe estar dentro del rango correspondiente al tipo de asfalto en este caso 85-100.

### 1.2.3 Ensayo de Solubilidad

**Normas:** LNV 37, AASHTO T 44

Con este ensayo se determina la pureza del cemento asfáltico. La muestra de cemento asfáltico que es soluble en tricloroetileno representa los constituyentes cementantes.

La materia inerte, sales, carbón libre u otros contaminantes inorgánicos son solubles.



**Fig. 1.4 Esquema del ensayo de Solubilidad**

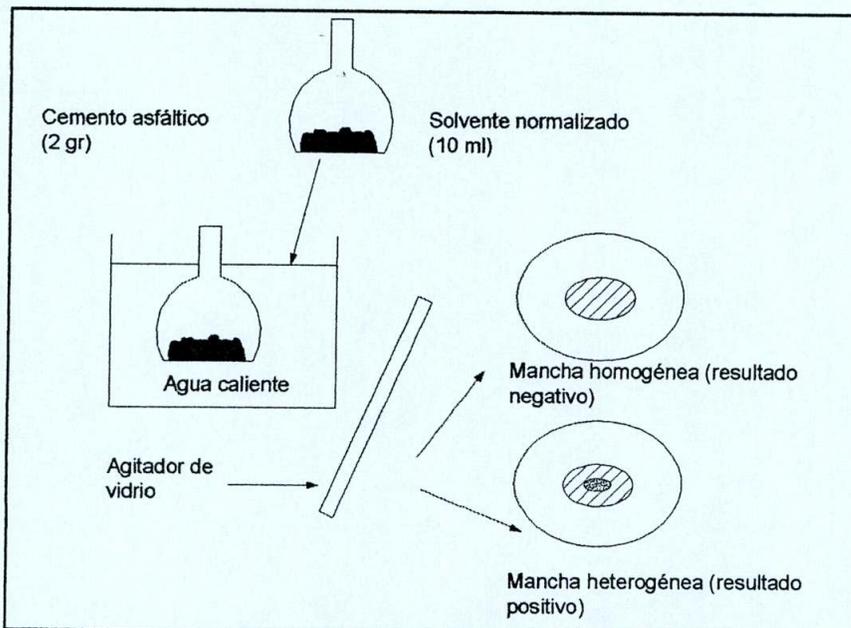


La solubilidad es un proceso de disolución de 2grs. de asfalto en 100ml. de solvente para separar la materia insoluble, reteniéndola al filtrar. Se determina la cantidad de material retenido en el filtro y se expresa como un porcentaje, en peso de la muestra original no menor al 99%.

### 1.2.4 Ensayo de la Mancha

**Normas:** LNV 25, AASHTO T 102

Este ensayo permite determinar los constituyentes del asfalto, asfáltenos/maltenos importantes en el comportamiento de los asfaltos (asfáltenos dan color dureza al asfalto, maltenos otorgan el valor cohesivo).



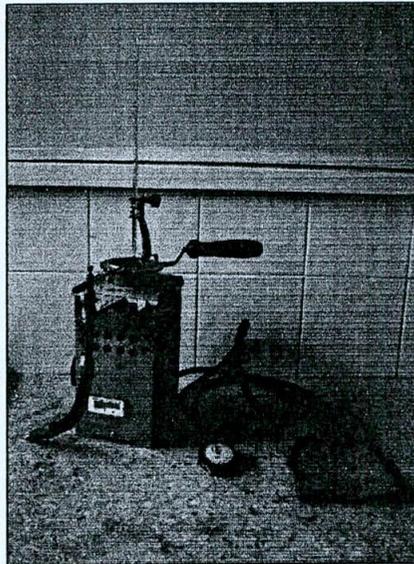
**Fig. 1.5 Esquema del ensayo de la mancha (Oliensis)**



### **1.2.5 Determinación del Punto de Inflamación y Combustión mediante la Copa Abierta de Cleveland**

**Normas:** LNV 36, AASHTO-T48, ASTM-D92

El Punto de Inflamación indica la temperatura a la cual el cemento asfáltico puede calentarse sin peligro de que se inflame instantáneamente en presencia de una llama.



**Foto 1.3 Equipo para el Ensayo de Punto de Inflamación y Combustión**

En éste ensayo se calienta el material y se expone periódicamente una pequeña llama a la superficie de la muestra. Se registra la temperatura a la cual el cemento asfáltico libera suficientes vapores (volátiles) para que se produzca la inflamación. El punto de inflamación para este tipo de asfalto como mínimo es 232°C.

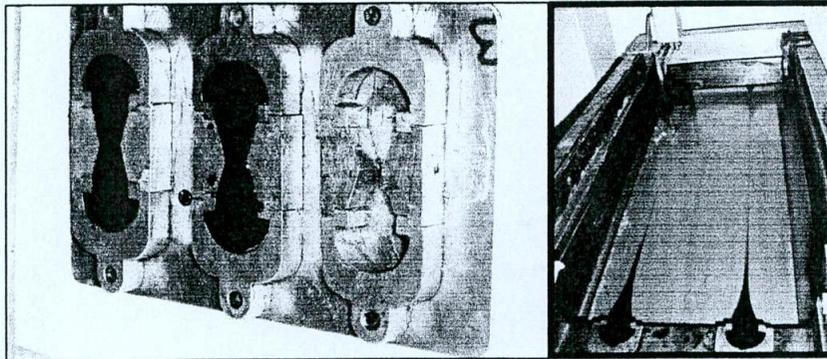


El Punto de Combustión se encuentra sobre el Punto de Inflamación, el ensayo se continúa hasta que la aplicación de la llama causa la inflamación de por lo menos 5 seg.

### 1.2.6 Método de Ensayo de Ductilidad para Materiales Bituminosos

**Normas:** LNV-35, AASHTO-T51

El ensayo de ductilidad, se lleva a cabo en un ductilómetro, sometiendo una probeta de forma normalizadas a un esfuerzo de tracción realizado a velocidad de deformación y temperatura constante, 5 cm./min. y 25 °C, respectivamente.



**Foto 1.4 Ensayo de ductilidad de un asfalto**

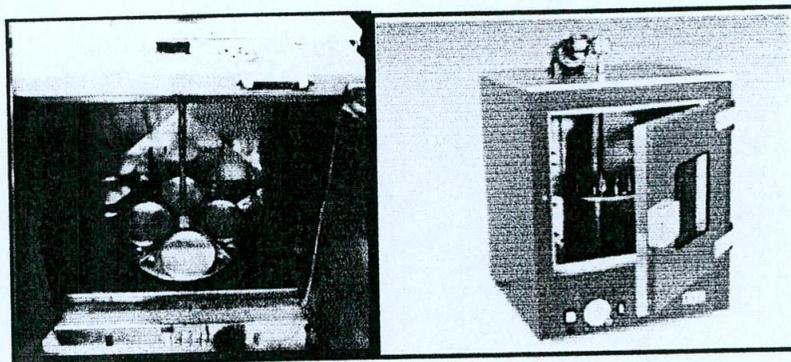
El ensayo se realiza en una cubeta llena de agua a temperatura constante y el alargamiento, en cm, que experimenta la probeta antes de alcanzar la rotura mide la ductilidad del producto ensayado. El valor mínimo de alargamiento para este tipo de cemento asfáltico es 100cm.



## 1.2.7 Ensayo de Película Delgada

**Normas:** LNV 32, AASHTO T179

Este procedimiento somete a la muestra de asfalto a condiciones similares en las operaciones de mezcla en planta. Por lo tanto, mide el endurecimiento o posible envejecimiento del cemento asfáltico producto del efecto del calor, aire y proceso de mezclado.



**Foto 1.5** Equipo para el ensayo de Película Delgada

El ensayo en sí consiste en colocar 50 gr. de cemento asfáltico sobre un platillo de 140 mm de diámetro y 10 mm de profundidad. La capa de asfalto es cercana los 3mm de espesor.

La muestra y el recipiente se colocan en un horno ventilado a 163 °C sobre un eje que gira entre 5 a 6 revoluciones por minuto, durante 5 horas, luego la muestra se saca y se somete a los ensayos de penetración y ductilidad, comparando estas medidas con las originales.

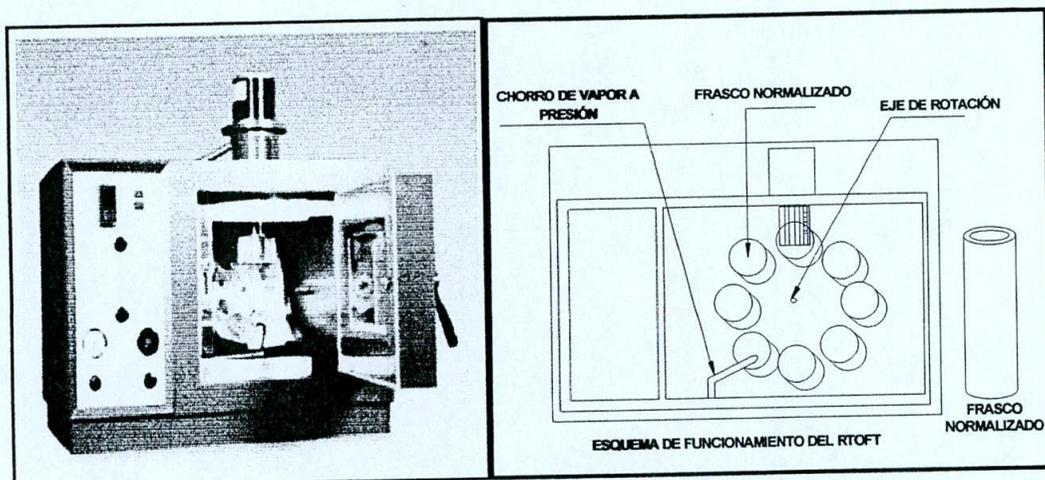


### 1.2.8 Ensayo de Película Delgada Rotatoria

**Normas:** LNV 33, AASHTO T 240

El propósito de este ensayo es el mismo que el de Película Delgada, pero aplicando a materiales asfálticos que están en constante movimiento para ser medidos en forma rutinaria, lo que hace que los equipos y procedimientos de ensayo sean diferentes.

El procedimiento consiste en colocar una cantidad específica de cemento asfáltico en un frasco y ponerlo en un sistema que gira a una velocidad determinada entorno a un eje horizontal, todo dentro de un horno especial a una temperatura de 163 °C. En cada rotación el orificio del frasco pasa frente a un flujo de aire.



**Foto 1.6 Ensayo de Película Delgada Rotatoria**



Este ensayo simula el envejecimiento que se produce debido al mezclado de la planta asfáltica. Este ensayo permite acondicionar un mayor número de muestras que el de Película Delgada. Luego de este ensayo se determina la ductilidad y viscosidad absoluta del cemento asfáltico.

### 1.2.9 Ensayo de Viscosidad

**Normas:** LNV 40, AASHTO T 201 T 202

#### a) Viscosidad cinemática de asfaltos.

Según la norma ASTM D-2170 o AASHTO T-201, este método se emplea para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos diluidos a 60 °C y cementos asfálticos a 135 °C, en un rango de viscosidad entre 30 y 6000 cSt.

Consiste en medir el tiempo de flujo del material bituminoso a través del tubo capilar de un viscosímetro de vidrio calibrado, a una temperatura controlada.

La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por la constante de calibración del viscosímetro.

$$\text{Viscosidad} = \text{Constante} \times \text{tiempo de flujo}$$

La viscosidad cinemática puede usarse para calcular la viscosidad dinámica o absoluta, si se conoce la densidad del material a la misma temperatura del ensayo. Para asfaltos usados en pavimentación, “la densidad a 135 °C puede determinarse

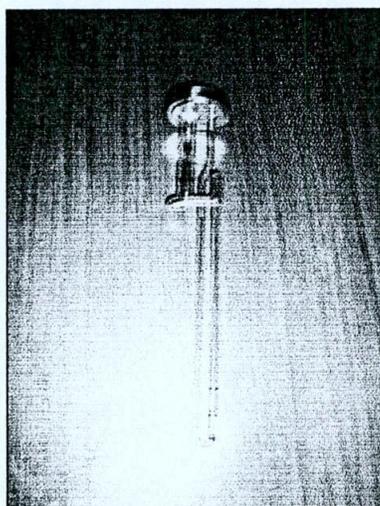


multiplicando el peso específico a 25/25 °C por un factor igual a 0,934 g/cm. Este valor está basado en un coeficiente de expansión de los asfaltos de 0,00061 por °C”.<sup>3</sup>

### b) Viscosidad absoluta de asfaltos.

Según la norma ASTM D-2171 o AASHTO T-202 este método se emplea para la determinación de la viscosidad absoluta de asfaltos por medio de viscosímetros capilares de vacío, a 60 °C.

Este método es aplicable con viscosidades entre 20 y 200 000 poises, y consiste en medir el tiempo de flujo del asfalto a través de un tubo capilar, bajo condiciones controladas de temperatura y presión.



**Foto 1.7 Viscosímetro Capilar de Vacío para viscosidad absoluta.**

<sup>3</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



Debido a que los asfaltos a la temperatura de 60 °C tienen viscosidades elevadas para fluir por gravedad a través de tubos capilares, se hace necesaria la aplicación de vacío, para que en estas condiciones el mismo pueda fluir a través de los capilares. El vacío aplicado en estos casos es equivalente a 30 cm de columna de mercurio.

El cálculo de la viscosidad es similar al descrito, para la medida de la viscosidad cinemática.

### **c) Viscosidad Saybolt-Furol.**

Según la norma ASTM D-2171 o ASTM T-202, se basa en el número de segundos que necesitan 60 centímetros cúbicos de asfalto para fluir a través de un orificio calibrado Furol bajo condiciones especificadas. Para realizar el ensayo, se llena el recipiente cilíndrico hasta una altura determinada con el producto a ensayar manteniendo la temperatura de ensayo por medio de un baño termostático que puede contener agua cuando la temperatura de ensayo es inferior a 100 °C o aceite cuando es superior a este valor.

Cuando la temperatura de la muestra se ha homogenizado, se quita el tapón del recipiente y se mide el tiempo en segundos que tardan en fluir por un orificio de 3,15 mm de diámetro, el volumen mencionado del producto a ensayar, que cae sobre un recipiente aforado. Este viscosímetro se utiliza únicamente con ligantes con una viscosidad mayor de 100 segundos.

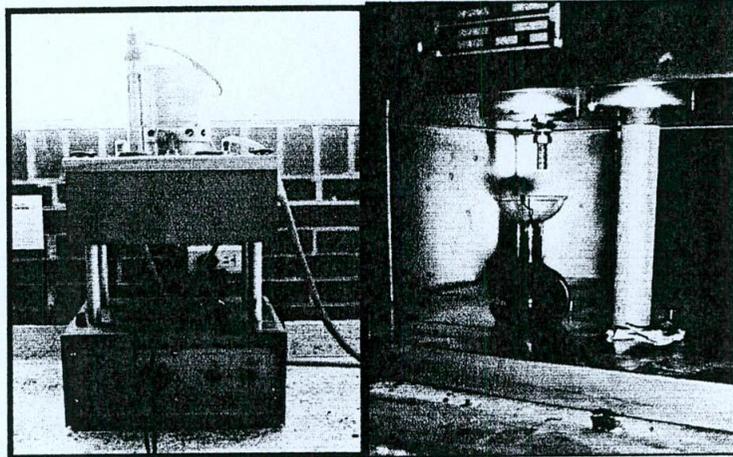


Foto 1.8 Ensayo de viscosidad relativa mediante el viscosímetro Saybolt-Furol.

“Finalmente debemos anotar que existe una relación aproximada, a igual temperatura entre la viscosidad Saybolt-Furol y la viscosidad cinemática:”<sup>4</sup>

$$V_{sf} = \frac{V_c}{2}$$

Donde:

$V_{sf}$  = Viscosidad Saybolt-Furol (seg.)

$V_c$  = Viscosidad Cinemática (Centistokes)

### 1.3 Agregados Minerales

Los agregados minerales corresponden al material pétreo que junto al asfalto, combinados de forma conveniente, forman las mezclas asfálticas. Los materiales pétreos pueden ser extraídos desde los ríos, canteras, etc. Una vez realizada esta

<sup>4</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

---

---

Capítulo I Mezclas Asfálticas

operación se consiguen diversos tamaños a través del chancado o proceso de trituración del material.

Las propiedades que debe cumplir todo agregado mineral para ser utilizado en una determinada mezcla asfáltica son:

**Friccionamiento interno** esta cualidad produce el esqueleto mineral y consiste básicamente en impedir el desplazamiento de las partículas bajo la acción de una carga.

Los materiales bien triturados otorgan una alta fricción interna, siendo baja la de los áridos redondeados. Esta propiedad no se puede medir en forma directa, pero puede verse reflejada por medio de los valores que arroja el ensayo de estabilidad Marshall.

**Propiedades superficiales** es fundamental contar con buena adherencia entre los áridos y el asfalto para que la mezcla resista la acción de los agentes atmosféricos y las cargas. Si esta propiedad no se cumple, el asfalto puede desprenderse del agregado pétreo y originar algún tipo de falla en el pavimento. Generalmente, los agregados calcáreos como las calizas y las dolomitas se adhieren fuertemente con el asfalto.

**Limpieza y pureza** esta característica se determina en forma visual. Por ello resulta un proceso poco confiable, lo más recomendable es realizar un tamizado por vía húmeda. Los materiales correspondientes a vegetales, partículas blandas, terrones de arcilla o cualquier sustancia arcillosa no son aceptables, ya que disminuyen en forma considerable la adherencia en las mezclas asfálticas.

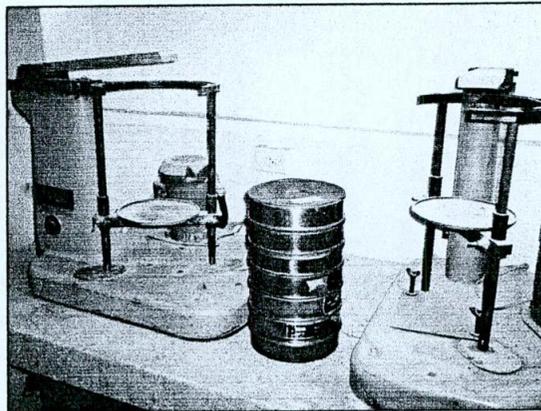


### 1.3.1 Granulometría

**Norma:** AASHTO T27, ASTM C 136

La granulometría de los agregados influye fuertemente en la estabilidad de un pavimento.

Esta indica la distribución en porcentaje de los agregados. La granulometría resultante puede ser densa, semiabierta o abierta.



**Foto 1.9 Tamizadora con juego de tamices**

Tabla 1.1 tipo de granulometría de acuerdo a cada capa del pavimento.

Tipo de Granulometría	Tipo de Carga
Densa	Rodadura
Semiabierta	Binder y base
Abierta	Base



“Para capas de rodado es conveniente utilizar granulometrías densas, ya que influyen en la estabilidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, por ser partículas pequeñas que se encargan de llenar los huecos que dejan los tamaños más grandes. Así, se obtiene una capa de rodado más cerrada”.<sup>5</sup>

Las mezclas asfálticas pueden estar constituidas por distintos tipos de granulometrías y distintos tipos de asfaltos.

## 1.4 Ensayos para los Agregados Gruesos

### 1.4.1 Ensayo de Desgaste de los Pétreos mediante la Máquina de los Ángeles

**Norma:** LNV 75 (adaptación NCh 1369), AASHTO T96, ASTM C131

**Resistencia al desgaste** es necesario que posean esta cualidad, ya que se encontrarán sometidos a fuertes roces durante el rodillado y posteriormente deberán soportar la acción del tránsito.

El **desgaste** se produce por la acción abrasiva del neumático sobre la superficie del pavimento. El pavimento al desgastarse, pierde espesor y por lo tanto, pierde estructura.

El desgaste de los agregados no puede sobrepasar ciertos límites, condición que puede ser medida a través del ensayo de desgaste de los pétreos mediante la máquina de los ángeles.

---

<sup>5</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

Con éste ensayo se determina la resistencia al desgaste de los pétreos mayores a 2.5 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 Kg/m<sup>3</sup> mediante la máquina de los Ángeles.

La máquina de los Ángeles consiste en un tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior, montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de un 1%. En su manto cilíndrico posee una abertura para introducir la muestra.

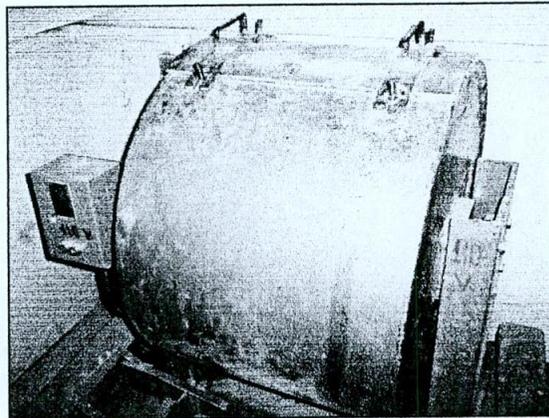


Foto 1.10 Máquina de los Ángeles.

El procedimiento del ensayo consiste primero en determinar la granulometría original de la muestra mediante tamizado dejándola separada en fracciones según los tamices de aberturas nominales siguientes: 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 12.5 mm, 10 mm, 6.3 mm, 5 mm 2.5 mm. Enseguida, se debe elegir de la tabla 1.2 el grado de ensayo más aproximadamente coincidente con la granulometría original de la muestra, o sea, la que permita representar la mayor proporción del material original.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

Tabla 1.2 Grados de Ensayo para desgaste de los Ángeles (definidos por sus tamaños límites, en mm).

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	80-40	50-25	40-20	40-10	20-10,0	10-5,0	5-2,5
Tamaño de las fracciones (gr.)							
80-63	2500 ± 50						
63-50	2500 ± 50						
50-40	5000 ± 50	5000 ± 50					
40-25		5000 ± 25	5000 ± 25	1250 ± 25			
25-20			5000 ± 25	1250 ± 25			
20-12,5				1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5-10				1250 ± 10	2500 ± 10		
10-6,3						2500 ± 10	
6,3-5						2500 ± 10	
5-2,5							5000 ± 10
<b>Masa Inicial (mi)</b>	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
<b>Esferas:</b>							
<b>Numero</b>	12			12	11	8	6
<b>Masa (gr)</b>	5000 ± 25			5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 25	2500 ± 15
<b>N.- Revoluc.</b>	1000			500			

Una vez realizado el ensayo se calcula el desgaste del pétreo grueso como un porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$P = \left( \frac{mi - mf}{mi} \right) * 100\%$$

Donde:



$P$  : pérdida de masa de la muestra, (%).

$m_i$  : masa inicial de la muestra, (gr.)

$m_f$  : masa final de la muestra, (gr.), retenida en el tamiz N° 12.

#### 1.4.2 Ensayo de desintegración por medio de Sulfato de Sodio.

**Normas:** LNV 74, AASHTO T104-92, ASTM C88-83

**Solidez** es importante contar con agregados pétreos que no se disgreguen ante la acción de los agentes climáticos. Para evaluar esta característica, las normas describen un ensayo denominado ensayo de los Sulfatos. En algunos casos pueden utilizarse ciclos de congelación y fusión en lugar del procedimiento anterior.

Este ensayo determina la desintegración de los pétreos mediante soluciones de sulfato de sodio. El procedimiento consiste en ensayar una muestra que corresponda al material retenido en el tamiz de 2.5 mm y que tenga un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la tabla 1.3

Tabla 1.3 tamaño de la muestra de Ensayo. Material Grueso.

Fracción	Tamaño de Partículas (gr.)	Masa de la Subfracción (gr.)	Masa de la fracción (gr.)
1	50 – 63	3000 ± 300	5000 ± 300
	40 – 50	2000 ± 200	
2	25 – 40	1000 ± 50	1500 ± 50
	20 – 25	500 ± 30	
3	12,5 – 20	670 ± 10	1000 ± 10
	10 - 12,5	330 ± 5	
4	5 - 10,0	300 ± 5	300 ± 5
5	2,5 – 5	100 ± 5	100 ± 5



La desintegración calculada como la pérdida de masa se debe a fenómenos físico-químicos resultantes de la cristalización del sulfato y no debe ser mayor al 12%

### 1.4.3 Ensayo para la determinación de la Cubicidad de Partículas.

**Normas:** LNV 3

Este método determina las partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de pétreo retenida en el tamiz 5 mm. Se entiende por “chancado” la partícula pétreo que tiene dos o más caras fracturadas; por “rodado”, la partícula que tiene una cara fracturada o que no tiene fracturas ni aristas; por “laja”, la partícula pétreo en que la razón entre la dimensión máxima y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que cinco.

El tamaño de la muestra debe cumplir con la tabla 1.5

Tabla 1.5 Cantidad mínima de la muestra para Ensayo de Cubicidad.

Tamaño Nominal, pulg (mm)	Masa mínima en (gr.)
1 (25)	10000
3/4 (19)	5000
1/2 (12.5)	2500
3/8 (9.5)	1000
1/4 (6.3)	750

Los cálculos que se deben realizar son:



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

---

Capítulo I Mezclas Asfálticas

- Porcentaje de partículas Chancadas:

$$Chi = \left( \frac{Bi + Di}{Ai} \right) * 100\%$$

- Porcentaje de Partículas Rodadas:

$$Ri = \left( \frac{Ci + Ei}{Ai} \right) * 100\%$$

- Porcentaje de Partículas Lajeadas:

$$Li = \left( \frac{Di + Ei}{Ai} \right) * 100\%$$

En que:

*Ai* : masa de la fracción, g.

*Bi* : masa de chancado, g.

*Ci* : masa de rodado, g.

*Di* : masa de laja chancada, g.

*Ei* : masa de laja rodada, g.

El agregado no deberá tener más del 10 % de su peso, de trozos alargados o planos según la Norma ASTM D4791 en una relación de uno a cinco. El máximo de materiales deletéreos en los agregados es de 1% en peso según la Norma ASTM C142.



Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm. Deben tener una adecuada angularidad, es decir, al menos el 75 % en peso deben contener dos o más caras fracturadas, según la norma ASTM D 5821

#### **1.4.4 Ensayo de Adherencia de Agregado- Bitumen (Método Estático).**

**Norma:** LNV 9, AASHTO T182

Este ensayo corresponde a un procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par bitumen-agregado en presencia de agua.

Primeramente, se mezcla el agregado seleccionado y preparado con el material bituminoso a la temperatura indicada según el bitumen empleado. Se da un período de curado al revestimiento, excepto cuando se usen asfaltos semisólidos.

Después del curado, la mezcla se sumerge en agua destilada durante un tiempo mínimo de 16 a 18 horas a la temperatura de  $(20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C})$ . Al final del período de inmersión y con la mezcla bajo el agua, se evalúa visualmente el área del agregado que no presenta desprendimiento de asfalto informándose como mayor o menor que el 95 %.

El material que se utiliza corresponde a los agregados que pasan en un 100 % por el tamiz de 10 mm y quedan retenidos en el tamiz de 5 mm. Esta muestra debe ser lavada con agua destilada para quitar el polvo adherido y secada hasta masa constante.



### 1.4.5 Especificaciones para los Agregados Gruesos.

El agregado grueso, retenido en el tamiz de 2.5 mm debe ser de roca chancada, grava chancada, escoria de alto horno chancado o anguloso natural.

De acuerdo a las especificaciones entregadas por el laboratorio nacional de Vialidad, se tiene la siguiente tabla de requisitos para el agregado grueso:

Tabla 1.6 Requisitos de Especificaciones Agregado Grueso.

	Ensayo	Carpeta	Binder	Base
<b>Desgaste los Ángeles, %</b>	LNV - 75	Máx.35	Máx.40	Máx.40
<b>Desintegración Sulfató de Sodio, %</b>	LNV - 74	Máx.12	Máx.12	Máx.12
<b>Chancado, %</b>	LNV3	Min.70	Min.60	Min.50
<b>Lajas, %</b>	LNV3	Máx.15	Máx.15	Máx.15
<b>Adherencia (método estático)</b>	LNV9	Min.95*	Min.90*	Min.95*

\*Si no se cumple se puede usar siempre y cuando se utilice un aditivo mejorador de adherencia.

### 1.5 Ensayo para los Agregados Finos.

#### 1.5.1 Ensayo para la Determinación del Índice de Plasticidad.

**Normas:** LNV 90 ; AASHTO T 89-90 ; ASTM D 4318-427



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

Este ensayo mide el Índice de plasticidad de los suelos a partir del “límite líquido” y el “límite plástico” y debe ser menor que 6 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IP = wL - wP$$

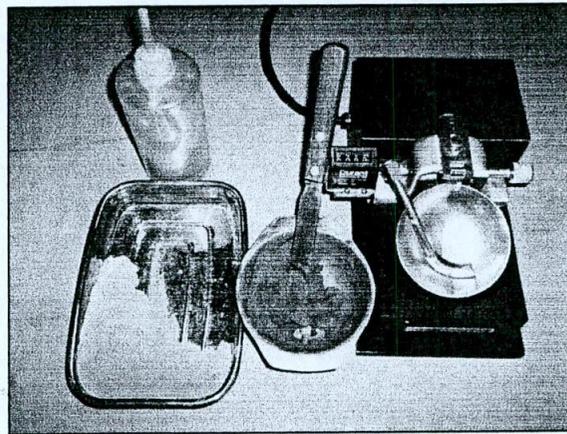


Foto 1.11 Equipo Casa Grande.

Donde:

*IP*: índice de plasticidad del suelo, %.

*wL*: límite líquido del suelo, %.

*wP*: límite plástico del suelo, %.

### Determinación del Límite Líquido (*wL*):

El “límite líquido” corresponde a la humedad, expresada en porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. El límite líquido debe ser menor a 25.



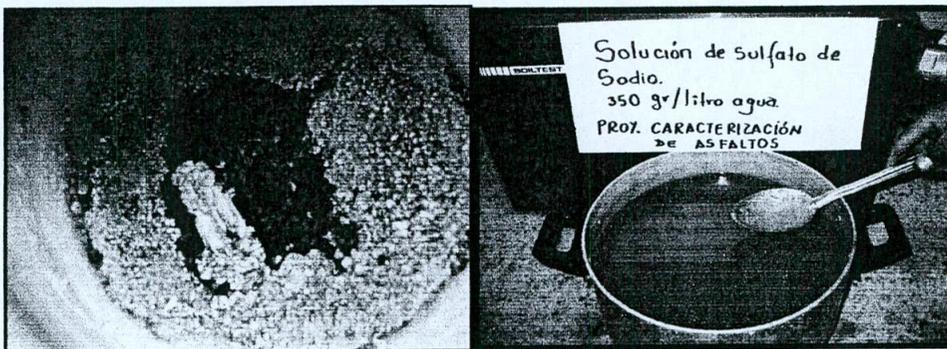
Con el valor de humedad en el límite plástico y el valor de humedad en el límite líquido, se está en condiciones de determinar el índice de plasticidad del agregado fino, mediante la fórmula:

$$IP = wL - wP$$

### 1.5.2 Ensayo de Desintegración por Sulfato de Sodio.

**Normas:** LNV 74; AASHTO T104-92 ; ASTM C88-83

Este ensayo determina la desintegración de los pétreos mediante soluciones de sulfato de Sodio. El procedimiento consiste en ensayar una muestra que corresponda al material que pasa por el tamiz de 5 mm y que tenga un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la tabla 1.7



**Foto 1.12 Muestra de agregado luego de 1 ciclo de inmersión en sulfato de sodio**



Tabla 1.7 Tamaño de la Muestra de Ensayo. Pétreo Fino.

Fracción	Tamaño de Partículas (mm.)	Masa Mínima de la Fracción (gr.)
1	5 - 10	100
2	2,5 - 5	100
3	1,25 - 2,5	100
4	0,63 - 1,25	100
5	0,315 - 0,63	100

Una vez obtenida cada fracción de la muestra de ensayo, se coloca cada una de ellas en su canastillo dentro de la solución de sulfato de Sodio a una temperatura de  $20 \pm 3$  °C por un periodo de  $17 \pm 1$  hora.

Luego, se sacan los canastillos y se dejan escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se secan hasta masa constante para finalmente enfriar a temperatura ambiente. Todo este ciclo de inmersión y secado se repite 5 veces.

Después se vuelve a lavar la muestra ensayada para eliminarle todo el sulfato de Sodio. Se seca y se determina la masa final de cada fracción (mf), el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción (pN) y la desintegración del pétreo fino (P) de acuerdo al mismo procedimiento descrito para el agregado grueso y fórmulas mencionadas en esa ocasión.

### 1.5.3 Especificaciones para los Agregados Finos.

El agregado fino (material que pasa por el tamiz 2.5 mm) debe ser arena natural o arena proveniente del chancado de roca, grava o escoria de alto horno. Sus



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

partículas deben ser duras, tenaces y libres de arcilla. Deben cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 1.8 Requisitos de Especificación Agregado Fino.

	Ensayo	Carpeta	Binder	Base
Índice de Plasticidad	LNV 90	NP	NP	NP
Adherencia (Riedel - Weber)	LNV 10	Min. 0 con 5	Min. 0 con 5	Min. 0 con 5
Desintegración Sulfato de Sodio, %	LNV 74	Máx. 15	Máx. 15	Máx. 15

### 1.5.4 Ensayo para Determinar la Composición Granulométrica del Filler.

Normas: LNV 2, AASHTO T 37

Este ensayo analiza a través de tamices, el filler empleado en los materiales que forman las mezclas asfálticas. La muestra para este ensayo se consigue por cuarteo a fin de lograr una muestra representativa.

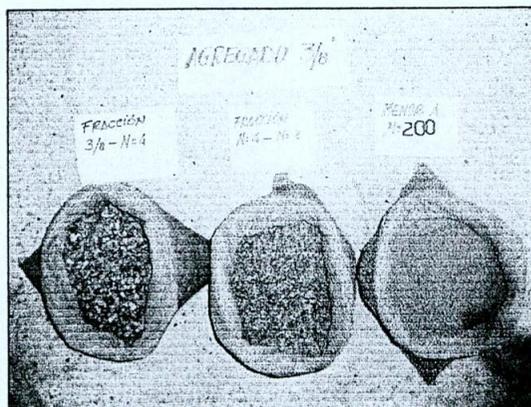


Foto 1.13 Filler (fracción pasante el tamiz No. 200)



Se necesitan alrededor de 50 gramos de material seco para cada ensaye, los que se colocan sobre el tamiz 0.63 mm, el cual debe estar montado sobre los tamices 0.315 mm. y 0.08 mm. El material se lava con un chorro de agua y termina cuando el agua emerge clara. El residuo en cada tamiz se seca hasta peso constante. Cada peso se refiere como porcentaje total que pasa por cada tamiz.

### 1.5.5 Especificaciones para el Filler.

El Filler debe estar constituido por un polvo mineral fino que puede ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla.

Debe cumplir con las siguientes especificaciones granulométricas:

Tabla 1.9 Granulometría Filler.

Tamiz (mm.)	Porcentaje que Pasa en Peso (%)
0,630	100
0,315	95 - 100
0,080	70 - 100

### 1.6 Ensayos sobre la Mezcla de Agregados Pétreos.

#### 1.6.1 Ensayo para determinación del Equivalente de Arena.

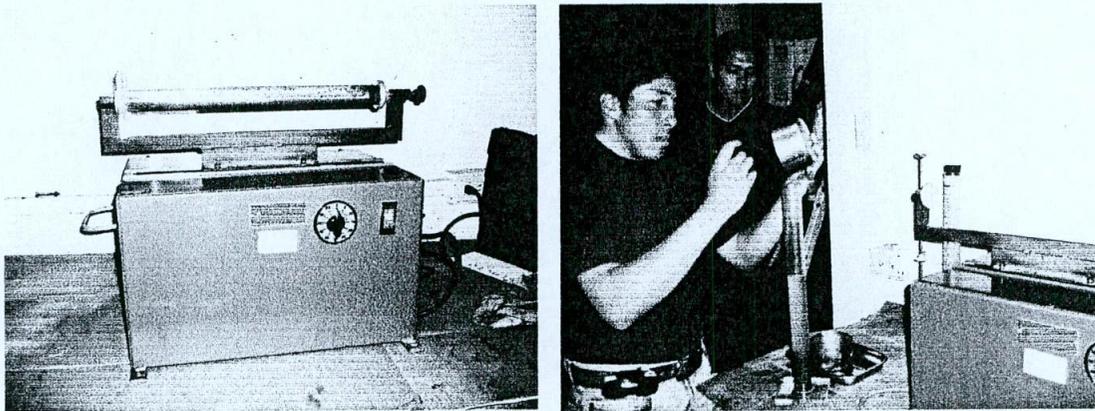
Normas: LNV 71, AASHTO T 176, ASTM D 2419



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los pétreos que pasan por el tamiz de 5 mm. El término “equivalente de arena” corresponde al porcentaje de arena con respecto al total de arenas e impurezas como arcillas.



**Foto 1.14** Equipo para Ensayo de Equivalente de Arena

Para su determinación se utiliza una probeta graduada de  $30 \pm 1$  mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduada en milímetros hasta una altura de 380 mm.

Está provista de un tapón hermético de caucho, además se usa un sifón compuesto por una botella de aproximadamente 4 litros y dos tuberías de plástico, una es la entrada de aire que penetra al interior de la botella sin tocar la solución y su extremo debe estar doblado en L, la otra tubería es de irrigación cuyo tramo interior penetra 20 mm del fondo de la botella y cuyo extremo exterior es una manguera de plástico con una longitud mayor a 1.5 m dotada de un sistema que regula el flujo de la



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

solución (por ejemplo: una pinza con tornillo). Además, cuenta con un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación.

Por último, se emplea un pisón compuesto por una varilla de bronce con hilo en ambos extremos; un pie de bronce con una perforación central con hilo para conectarla con la varilla; un par de guías que mantengan centrada la varilla con respecto al eje de la probeta; y una sobrecarga de modo que el conjunto de varilla, pie guías y sobrecarga obtengan una masa de 1 kg.

La muestra que se ensaya debe pasar por el tamiz de 5 mm y su cantidad debe ser suficiente para llenar cuatro medidas (recipiente de  $85 \pm 5$  ml de capacidad).

**El procedimiento de ensayo consiste en:**

- a) Poner la botella del sifón con la solución base de ensayo a 1m de la superficie de trabajo (para su caída libre).
- b) Sifonear la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de  $100 \pm 5$  mm.
- c) Obtener por cuarteo el material para llenar una medida.
- d) Llenar la medida, asentar el material a través de golpes del fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos cuatro veces, enrasar y verter en la probeta.
- e) Golpear firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- f) Dejar la probeta en reposo por un periodo de 10 minutos.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

- g) Colocar el tapón y soltar la arena del fondo del tubo a través de inclinaciones y sacudidas.
- h) Agitar la probeta, ya sea manualmente (90 ciclos en 30 segundos) o mecánicamente (agitador mecánico durante 45 segundo), según sea el caso.
- i) Poner la probeta sobre la mesa de trabajo, destaparla y lavar sus paredes interiores mediante el irrigador.
- j) Meter el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- k) Retirar el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- l) Dejar sedimentar por un periodo de 20 minutos.
- m) Al final del período de sedimentación leer y registrar el nivel superior de la arcilla (Nt).
- n) Introducir el pisón en la probeta y hacerlo descender hasta que quede apoyado en la arena. Registrar el nivel superior de la arena (Na).

Para calcular el equivalente de arena se utiliza la siguiente fórmula:



$$EA = \left( \frac{Na}{Nt} \right) * 100\%$$

Donde:

*EA: Equivalente de arena (%).*

*Na: nivel superior de arena (mm).*

*Nt: nivel superior de la arcilla.*

El equivalente de arena para cada muestra se calcula a partir del promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos y debe ser mayor a 45%.

### **1.7 Propiedades de las Mezclas Asfálticas**

Las mezclas asfálticas se caracterizan por ser mezclas en frío o en caliente entre materiales pétreos y asfalto seleccionados, confeccionados en plantas y con los equipos apropiados para esta labor. Según sus propiedades y espesores de capa se considera que aportan capacidad estructural al pavimento.

Los tipos de mezclas asfálticas se clasifican teniendo en consideración lo siguiente:

- Lugar donde se efectúa la mezcla: en planta (más común) o en sitio.
- Temperatura de mezclado: en frío o en caliente.
- Huecos en la mezcla: abiertas, cerradas o semiabiertas.

#### ***Mezclas en planta***

Corresponden a las mezclas confeccionadas en plantas especialmente diseñadas donde los agregados se mezclan y dosifican con el asfalto. Si durante el proceso de



confección de la mezcla los agregados se calientan a altas temperaturas se habla de mezclas en planta en caliente (MPC), en caso contrario, se habla de mezclas en planta en frío (MPF). Las MPC son las de mejor calidad, se emplean en caminos de primera categoría y usan como ligante cemento asfáltico. Las MPF emplean como ligante asfaltos líquidos.

### **Mezclas en Sitio**

Se denominan mezclas en sitio a aquellas que se confeccionan mezclando el agregado con un asfalto líquido en la misma faja del camino. Tanto el proceso de mezclado como el de colocación se efectúan, normalmente, con moto niveladora.

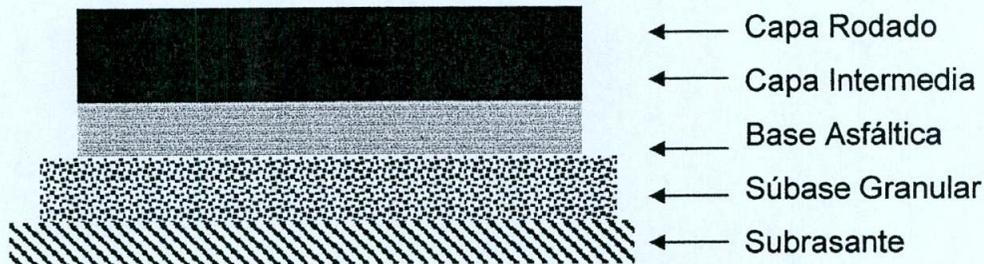


Figura 1.6 Estructura y supraestructura del pavimento.

Las mezclas que se estudiarán, en este caso corresponden a mezclas asfálticas en caliente, por tratarse de materiales que deben ser calentados a cierta temperatura (de acuerdo al diseño Marshall de laboratorio) en planta y deben ser colocados en obra, también a cierta temperatura considerando las recomendaciones de diseño de la mezcla.

Las mezclas estarán constituidas por una granulometría pétreo recubierta con una película de asfalto, que luego deben ser compactadas, éstas poseen ciertas



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

características que las hacen ser resistentes al desgaste producido por los vehículos y al mismo tiempo transmitir las solicitaciones de ellos a las capas inferiores.

Se debe considerar que las solicitaciones que actúan sobre este tipo de capas provocan agrietamientos a través de la energía de deformación a lo largo del tiempo. Con esto, la mezcla asfáltica se deforma de distintas maneras. Primero, elásticamente disipando cierta cantidad de esta energía, otra parte se absorbe por medio de la deformación plástica y una tercera parte es disipada por medio del agrietamiento que se genera en la capa asfáltica.

Al saber que las capas confeccionadas con mezclas asfálticas pueden sufrir deformación, es importantísimo conocer sus características y propiedades para poder predecir, de alguna forma, su comportamiento en servicio.

Las propiedades fundamentales que presentan las mezclas asfálticas son las siguientes:

- Durabilidad.
- Estabilidad.
- Resistencia a la fatiga.
- Resistencia al deslizamiento.
- Impermeabilidad.
- Trabajabilidad.
- Ductilidad.

**Durabilidad** es una de las propiedades más importantes de las mezclas asfálticas, ya que indica su capacidad para resistir la desintegración causada por la acción del



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

tránsito de vehículos y las condiciones climatológicas como la radiación solar, aire y agua presentes en el ambiente. La mezcla asfáltica puede oxidar, endurecer y envejecer debido a los agentes atmosféricos.

“Para mejorar la durabilidad conviene aumentar el contenido de asfalto de tal manera que el espesor de la película de material empleado tarde más tiempo en oxidarse. Pero un aumento excesivo de la cantidad de asfalto puede afectar en forma negativa la estabilidad.”<sup>6</sup>

Por ello, es necesario en el diseño de la mezcla, conseguir un porcentaje de asfalto que optimice las propiedades que se deseen lograr de la mezcla.

**Estabilidad** corresponde a la capacidad de las mezclas asfálticas para resistir las deformaciones causadas por las distintas sollicitaciones del tráfico. Es muy importante el papel que desempeñan los materiales pétreos, puesto que éstos aportan estabilidad a la mezcla a través de su esqueleto mineral, fricción interna, tamaño máximo nominal y rugosidad de sus caras.

**Resistencia a la fatiga** es la oposición al agrietamiento que manifiestan los pavimentos asfálticos frente a la acción repetitiva de las cargas de rueda presentes a lo largo de la vida en servicio.

**Resistencia al deslizamiento** es una de las propiedades que poseen las mezclas asfálticas para evitar resbalamiento entre las ruedas del vehículo y el pavimento en situaciones en que la pista está en condiciones de humedad. La llovizna se produce por el efecto del tránsito de los vehículos precedentes que circulan sobre un

<sup>6</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo I Mezclas Asfálticas

pavimento con cierto espesor de agua, impidiendo la correcta visibilidad del conductor que lo sigue. Para reducir este efecto es conveniente emplear mezclas drenantes en el tramo en que la concentración de agua es importante y su evacuación poco eficiente.

Respecto de la resistencia al deslizamiento, las irregularidades superficiales que posee el pavimento ayudan bastante, de las cuales se puede mencionar la microtextura y la macrotextura.

Para que exista suficiente adherencia entre el vehículo y el pavimento, a cualquier velocidad, debe presentarse una macrotextura rugosa y una microtextura áspera.

“La aspereza de un camino es necesaria para garantizar una buena adherencia. La función de la microtextura áspera consiste en mantener la adherencia entre el neumático y el pavimento en cualquier condición (seco o mojado). La macrotextura funciona cuando el pavimento está mojado, pues ayuda a la evacuación del agua presente entre el neumático y el pavimento.”<sup>7</sup>

**Impermeabilidad** es la condición que debiera tener una mezcla bituminosa con el objeto de evitar la filtración del agua superficial hacia las capas inferiores. Esto impide que las capas subyacentes pierdan capacidad de soporte.

La impermeabilización más perfecta se consigue eliminando todos los huecos de una mezcla, pero esta solución no es posible, ya que las mezclas deben poseer un cierto porcentaje de huecos para absorber la consolidación producto del amasado del tránsito.

<sup>7</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo 1 Mezclas Asfálticas

“Sin estos huecos o vacíos de aire la mezcla al compactarse desplazará asfalto hacia la superficie (exudación), con lo cual puede formar una película de bitumen sobre ella, haciéndola resbaladiza y disminuyendo la estabilidad de la mezcla. Por el contrario, si los vacíos de aire aumentan el porcentaje del volumen total de la mezcla, la cohesión entre el ligante y el agregado pétreo disminuye, puesto que cuenta con más huecos de lo habitual, algunos se llenan con asfalto, quedando otros sin llenar siendo focos de atracción para los agentes atmosféricos como el aire y radiación solar; todo esto hace que el agregado pierda cohesión con el asfalto y se produzca desprendimiento del agregado mineral. Por lo tanto, se debe determinar y emplear una cantidad de vacíos de aire tal que produzca un equilibrio entre la cohesión requerida y la estabilidad necesaria, con el fin de proporcionar alta durabilidad a la mezcla asfáltica.”<sup>8</sup>

**Trabajabilidad** corresponde a la facilidad que debe poseer una mezcla asfáltica para ser colocada con éxito en el lugar requerido. Con esto, se evitan posibles segregaciones que pueda sufrir la mezcla considerada.

**Ductilidad o flexibilidad** es otra de las propiedades deseables de las mezclas asfálticas. Corresponde a la capacidad del pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos que puedan sufrir la base y la subrasante sin agrietarse.

En síntesis, cualquiera que sea el procedimiento de diseño que se emplee para que una mezcla sea colocada en una vía, ésta debe cumplir ciertos requerimientos.

<sup>8</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

Capítulo I Mezclas Asfálticas

Conviene conseguir el mejor balance entre los áridos y el asfalto a un costo razonable.

# **CAPITULO 2**

**MÉTODOS DE DISEÑO**



## 2. MÉTODOS DE DISEÑO

La forma, procedimiento o método que se utilice para diseñar una mezcla debe cumplir con todo los requerimientos correspondientes a los pavimentos flexibles. Estos métodos se basan en experiencias previas que simulan lo que sucede en terreno. La mezcla debe poseer:

- Asfalto para el recubrimiento del material pétreo y en conjunto evitar el prematuro envejecimiento.
- Estabilidad requerida para cumplir con las cargas solicitantes de tráfico, evitando de esta manera, las deformaciones o asentamientos en el tiempo (ahuellamiento).
- Cantidad mínima de vacíos en la mezcla total compactada para evitar el problema de la inestabilidad y exudación. Al mismo tiempo, una cantidad de vacíos muy grande produce mezclas permeables al aire y agua, lo que contribuye a sufrir envejecimiento prematuro y posteriormente desintegración. Para cumplir con esto, las mezclas se diseñan usualmente del 3% al 5% de vacíos (respecto a la mezcla asfáltica total) en el laboratorio y en obra.
- Trabajabilidad para poder manejar y colocar con mayor facilidad la mezcla sobre la zona a pavimentar, permitiendo una buena compactación sin segregación.

El objetivo del diseño de una mezcla es desarrollar una combinación económica de agregados y asfalto.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

Capítulo II Métodos de Diseño

El diseño de una mezcla se regula a través de la elección de una franja granulométrica según las especificaciones técnicas y un porcentaje de asfalto, de modo que una vez elaborada y puesta en terreno, cumpla con las exigencias para la cual fue diseñada.

Los métodos de dosificación buscan determinar un porcentaje de asfalto óptimo a partir del análisis de las propiedades de la mezcla. Estos métodos de diseño se basan en el empleo de ensayos mecánicos.

Entre los métodos de diseño más conocidos para mezclas en caliente con cementos asfálticos, se puede mencionar el método Marshall y el método Hveem. El método más común es el método Marshall y ha sido muy utilizado en todo el mundo.

“En el año 1995 comienza el uso de un nuevo procedimiento de diseño de mezclas bituminosas denominado Superpave (Superior performance pavement). Se basó en el conocimiento adquirido de los procedimientos Marshall y Hveem. También es posible mencionar otro método menos utilizado como el método giratorio de Texas, el que es usado en Texas, Oklahoma y el Colorado.”<sup>10</sup>

Las principales diferencias entre los procedimientos Marshall, Hveem y Superpave es el equipo empleado para compactar las probetas y los ensayos de resistencia para evaluar la mezcla.

---

<sup>10</sup> PEREZ F., MIRO R., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.



## 2.1 Método de diseño Marshall

Este ensayo según norma AASHTO T 245, ASTM 1559 normalmente se aplica a probetas confeccionadas en laboratorio con una granulometría de tamaño máximo de 25 mm.

El procedimiento Marshall comienza con la preparación de las probetas las que deben confeccionarse con:

- Materiales que cumplan con las especificaciones vigentes así como las de proyecto. Por ello se deben realizar los ensayos pertinentes tanto a los agregados pétreos como al cemento asfáltico.
- Además la mezcla debe cumplir con las especificaciones técnicas del proyecto.
- Y se debe determinar la densidad real seca de los agregados y la del asfalto para ser usados en el análisis densidad-huecos.

Este método utiliza probetas cilíndricas normalizadas de 64 mm de altura 102 mm de diámetro, éstas se confeccionan según el procedimiento de calentamiento, mezclado y compactación que más adelante se detalla. Para ello se debe establecer la temperatura de mezclado y compactación, ambas se determinarán con un gráfico de viscosidad temperatura. Pero en el caso particular de esta investigación esto no se realizó, ya que se contaba con el diseño Marshall de la Planta Asfáltica.



Los parámetros que se analizan en el método Marshall son la densidad-huecos, estabilidad y la fluidez de la probeta. Para determinar el contenido óptimo de asfalto, incrementando cinco veces el contenido de la mezcla en 0.5% desde 4.5% referido a los agregados. Para ello se confeccionan tríos con los contenidos de asfalto antes definidos.

Los cálculos a realizar para este método son:

### 2.1.1 Cálculo de la densidad

Una vez desmoldada la probeta es necesario determinar la densidad real seca de acuerdo al ensayo descrito en LNV-13; AASHTO T166; ASTM D1188, esto es posible realizarlo a través de dos métodos, el método 1 “Probetas Cubiertas con parafina” o método 2 “Probetas con superficie saturada Seca”.

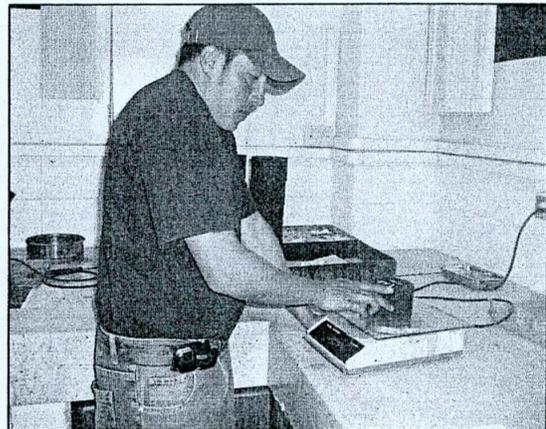
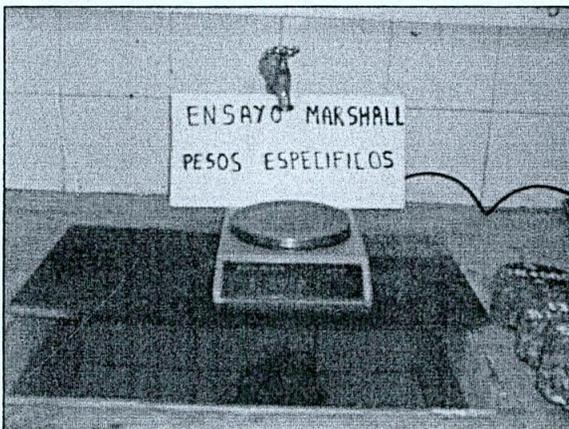


Foto 2.1 Ensayo de Densidad



A continuación se expresa brevemente la forma para determinar la densidad con ambos métodos.

**Método 1** “*Probetas Cubiertas con parafina*”

Calcule la densidad de la probeta de acuerdo a la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{(D-E)}{\rho_w} - \frac{(D-A)}{\rho_p}}$$

Donde:

$A$  = masa de la probeta en aire, g.

$D$  = masa de la probeta con parafina en aire, g.

$E$  = masa de la probeta con parafina en agua, g.

$\rho_p$  = densidad de la parafina, g/ml.

$G$  = densidad de la probeta compactada, kg/m<sup>3</sup>.

$\rho_w$  = densidad del agua.

**Método 2** “*Probetas con superficie saturada Seca*”

Nota: Si el porcentaje de agua absorbida, determinado por la expresión:

$$A_{ab} = \frac{B - A}{B - C} * 100$$

si esta expresión es mayor que 2, emplear método 1.

Calcule la densidad de acuerdo a la fórmula:



$$G = \frac{A}{B - C} * 1000$$

Donde:

*A = peso de la probeta en aire, gr.*

*B = peso de la probeta saturada. Con superficie seca, gr.*

*C = peso de la probeta e agua, gr.*

*G = densidad probeta (kg/m<sup>3</sup>).*

### 2.1.2 Cálculo de la Estabilidad y Fluencia

La estabilidad y la fluencia se miden directamente desde el ensayo con el equipo Marshall. Se aplica una carga a deformación de 51mm por minuto hasta que se produzca la falla. La Estabilidad queda definida por la carga máxima que es capaz de soportar la probeta y la Fluencia se mide desde el momento en que la probeta empieza a ser cargada hasta llegar a la rotura.

### 2.1.3 Análisis de los huecos

Se debe calcular la cantidad de vacíos en la mezcla completa y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral V.A.M.

#### Vacíos en la mezcla

Estos se calculan según la siguiente fórmula:



$$V_a = \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}} * 100$$

Donde:

$V_a$  = porcentaje de huecos en la mezcla

$D_{mm}$  = densidad máxima de la mezcla, según LNV 12.

$G$  = densidad de la mezcla compactada, según LNV 13.

### Vacíos en el Agregado Mineral VAM

El VAM se calcula de la siguiente manera:

$$VAM = 100 - \frac{G}{\rho_{RS}} * \frac{100}{(100 + P_b)} * 100$$

Donde:

VAM: es el porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

$G$ : es la densidad de la mezcla compactada ( $kg/m^3$ ).

$\rho_{RS}$ : es la densidad real seca del agregado ( $kg/m^3$ ).

$P_b$ : es el porcentaje de asfalto referido al agregado mineral.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) debe ser mínimo 14%.

La densidad real seca del agregado,  $\rho_{RS}$ , se calcula con la siguiente expresión:

$$\rho_{RS} = \frac{100}{\frac{P_1}{\rho_{RS1}} + \frac{P_2}{\rho_{RS2}} + \dots + \frac{P_n}{\rho_{RSn}}}$$



Donde:

$\rho_{RS}$ : es la densidad real seca del agregado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$P_i$ : es el porcentaje en peso de los agregados,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

$\rho_{RSi}$ : es la densidad real seca de los agregados,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

#### 2.1.4 Determinación del óptimo de asfalto (Según LNV 46 – 86)

Con los parámetros que se obtienen se pueden graficar respecto al porcentaje de asfalto utilizado. Los gráficos que se deben realizar son los siguientes:

- Densidad de la mezcla vs. Contenido de Asfalto.
- Huecos en la mezcla vs. Contenido de Asfalto.
- Vacíos de agregado mineral vs Contenido de Asfalto.
- Estabilidad vs Contenido de Asfalto.
- Fluencia vs Contenido de Asfalto.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se necesitan los gráficos de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. En cada una se determina lo que sigue:



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo II Métodos de Diseño

Figura 2.1 Contenido de Asfalto que maximiza la estabilidad (Pb1).

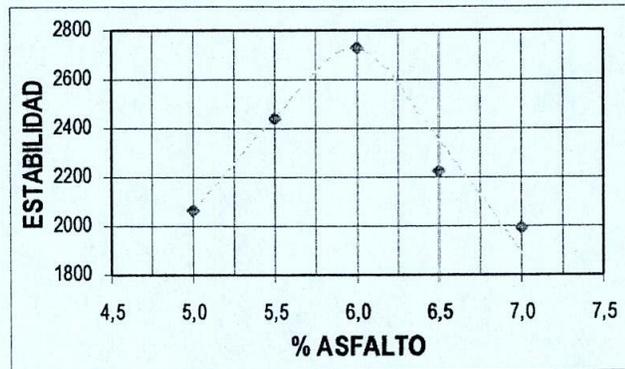


Figura 2.2 Contenido de Asfalto que maximiza la Densidad (Pb2).

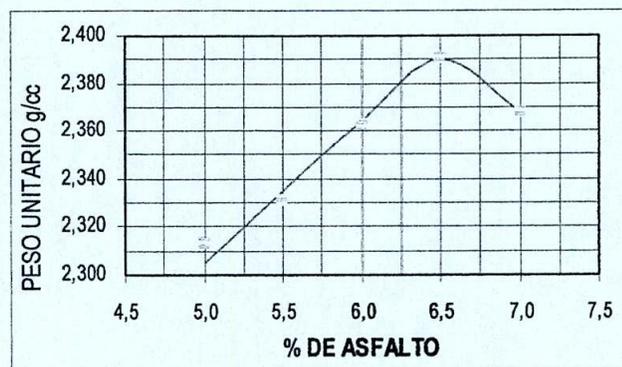
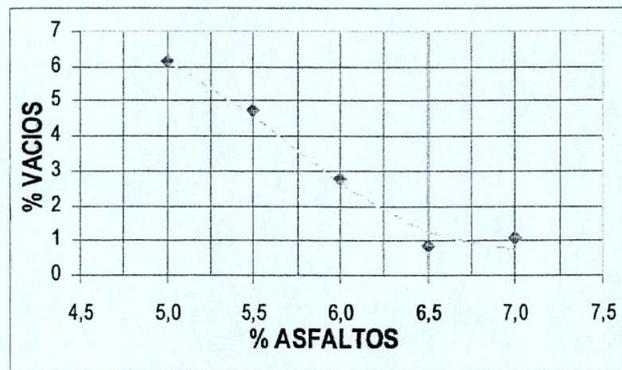




Figura 2.3 Contenido de Asfalto para un 4% de huecos ( $Pb3$ ).



El contenido óptimo de asfalto se define como:

$$Pb = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3}$$

Se verifica que el contenido de asfalto óptimo cumpla con los requisitos establecidos según la tabla 2.1, en caso contrario deberá ajustarse la mezcla hasta que cumpla dichas condiciones.

### 2.1.5 Requisitos de la Mezcla de diseño.

Es importante elegir una mezcla asfáltica económica que cumpla con todas las especificaciones solicitadas. En la tabla 2.1 se resumen los criterios a considerar en el diseño Marshall.



"EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA"

Capítulo II Métodos de Diseño

Tabla 2.1 Criterio de Diseño Marshall. LNV. (Trasito Pesado).

TIPO DE TRAFICO CRITERIOS MARSHALL	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Nº de Golpes/cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200		1800		1200		1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacios en mezcla								
* Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
* Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
* Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
Relacion filler/betun	0,8	1,2	0,8	1,2				
% Estabilidad retenida luego 7 dias en agua temperatura ambiente								
* Capa de Rodadura	70		70					
* Intermedia o Base	60		60					

Tabla 2.2 Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral

Tamaño Máximo Nominal de los agregados (mm)	VAM mínimo (%)
1.25	23.5
2.5	21
5	18
10	16
12.5	15
20	14
25	13



A continuación se indican las ventajas y desventajas del método de diseño Marshall:

**Ventajas:**

- Se debe prestar especial atención al análisis de densidad-vacíos, estabilidad y resistencia.

Esto asegura que las importantes propiedades volumétricas de la mezcla estén en sus niveles óptimos para lograr un pavimento asfáltico durable.

- El equipamiento requerido para el diseño no es caro y por sus dimensiones y características físicas se puede transportar de un lugar a otro sin mayores problemas. Esto lo hace útil además en operaciones de control de calidad.

**Desventajas:**

- El método de compactación de las probetas no simula adecuadamente el proceso de densificación que ocurre bajo las cargas de tráfico en un pavimento real.

- El parámetro de resistencia que se ensaya en laboratorio no considera la resistencia al corte de la mezcla asfáltica.

- La carga que se aplica a la probeta de ensayo es en dirección perpendicular al eje de compactación.

# **CAPITULO 3**

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**



### **3. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA.**

#### **3.1 Generalidades.**

La aplicación del ensayo de Tracción Indirecta en testigos extraídos del pavimento, deben ser sometidos previamente en agua a una temperatura de  $5^{\circ} \text{C} \pm 0.5$  durante 24 horas. Esto permite que la mezcla se comporte como un material rígido, y su resistencia máxima de rotura está relacionada con la compactación de la mezcla, con la dureza de los áridos y con el porcentaje y calidad del cemento asfáltico, todos estos factores determinan la calidad de la mezcla y su ejecución. El ensayo de tracción Indirecta consiste en ensayar los especímenes a compresión diametral aplicando una carga estática a una velocidad constante de 50,8 mm/min. utilizando la prensa Lottman y el equipo Marshall, hasta causar la falla de la misma por fractura a lo largo del plano vertical. El valor obtenido es la resistencia máxima a rotura y es considerado como un indicador de la cohesión de la mezcla. Con el fin de obtener un parámetro de resistencia a tracción de la capa asfáltica y que resulte útil para comparar la calidad obtenida con la pretendida.

Este ensayo se lo implanto para la Vía Oña – Loja, Tramo III, ya que se contó con la información suficiente acerca de los materiales empleados, ensayos realizados para el diseño del pavimento y la disponibilidad por parte de la Compañía Constructora COLISA para realizar la extracción de núcleos.

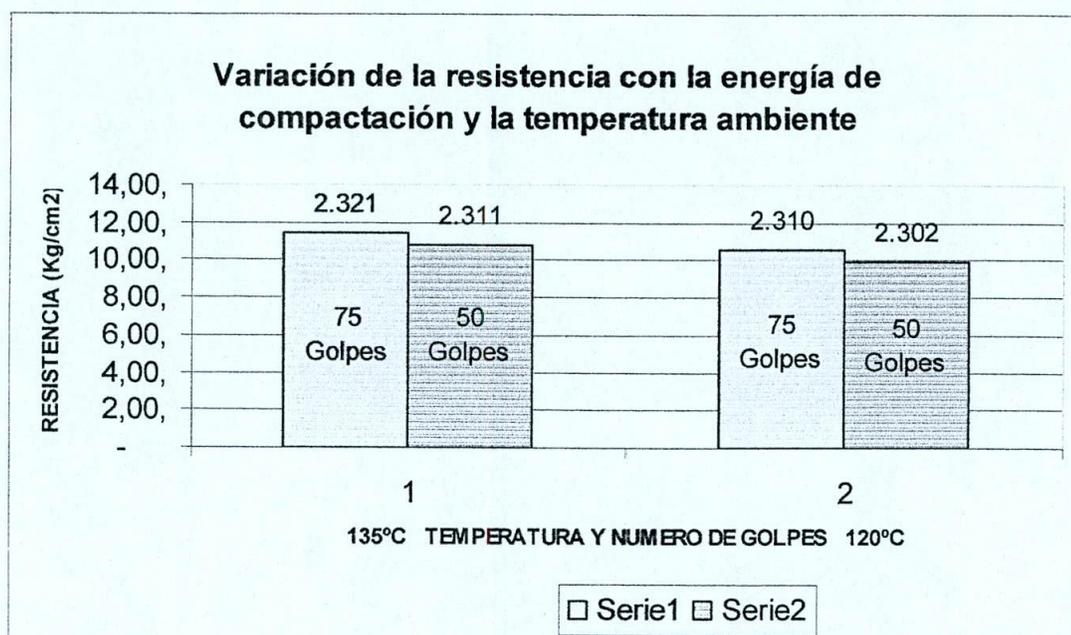
#### **3.2 Aplicación del ensayo de tracción indirecta a la caracterización de mezclas Bituminosas.**

Con el objetivo de poder establecer criterios de calidad sobre el producto final, este trabajo de investigación se ha orientado hacia la determinación de la resistencia a exigir de acuerdo al tipo de mezcla empleada y saber como varía este parámetro con la dosificación de la mezcla y con los materiales empleados.



El efecto de la compactación se ha estudiado en una mezcla de tipo denso de tamaño máximo 20 mm, para lo cual se han fabricado y compactado probetas en laboratorio variando la temperatura de compactación: 120 °C y 135 °C, debido a que entre este rango de temperatura se realizó la colocación de la mezcla asfáltica (Vía Oña-Loja, Tramo III) y la energía de compactación Marshall: 50, 75 golpes por cara, los mismos que fueron ensayados a tracción indirecta a diferentes temperaturas al ambiente, 25 °C y 5 °C. Se ha utilizado en esta práctica áridos procedentes del río Boquerón triturados en la Planta de la Compañía COLISA y un 6.0 % de Cemento asfáltico B-85/100 de acuerdo al diseño por ellos establecidos, habiendo sido ajustada la composición granulométrica al centro de sus respectivos usos. Se observan los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica en la gráfico 3.1

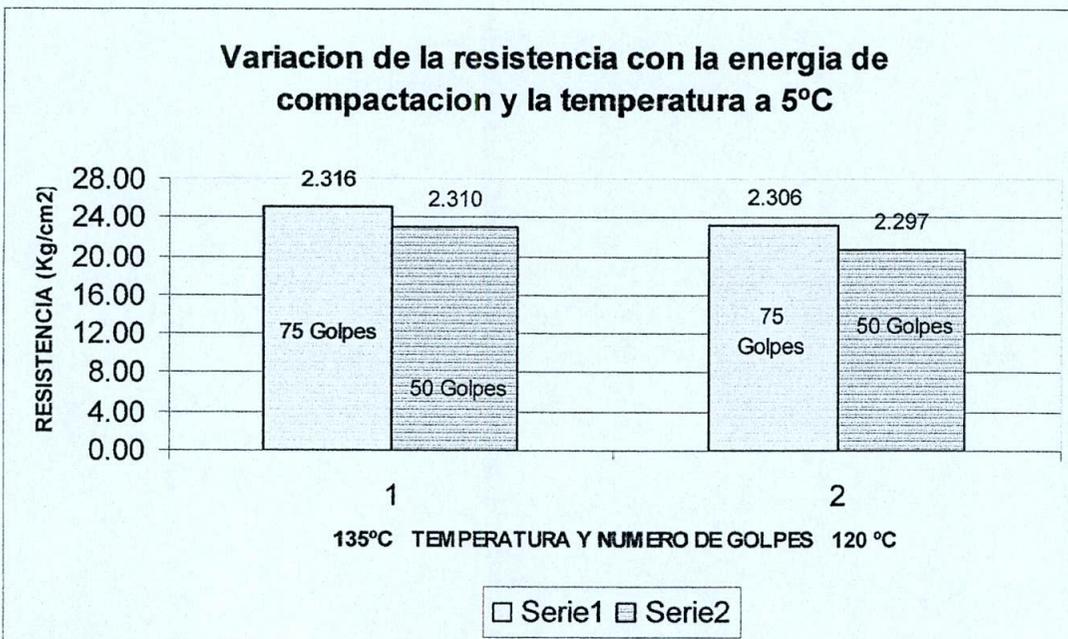
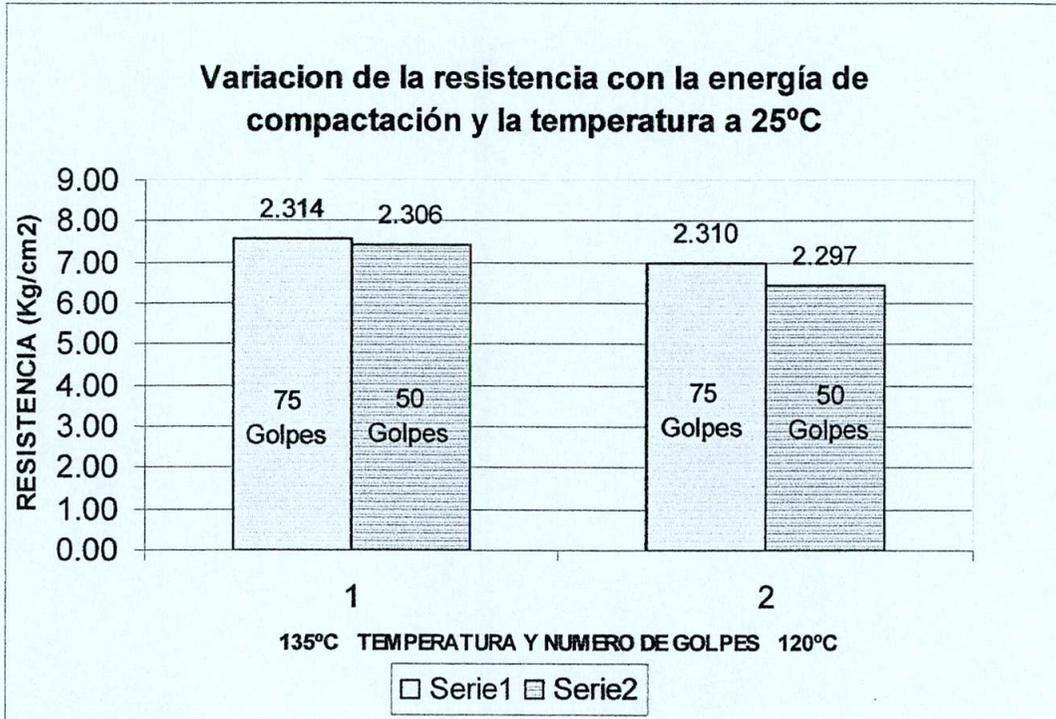
Gráfico 3.1 Variación de la resistencia con la energía de compactación y la temperatura.





“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

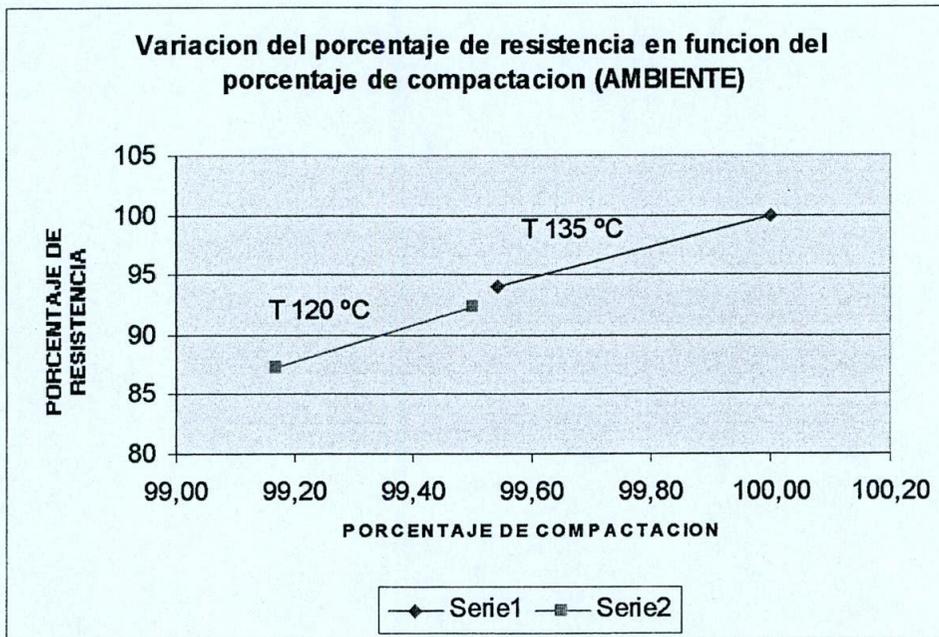
Capitulo III Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.





En el gráfico 3.2 se ha representado para la mezcla la variación de su compactación y resistencia, en porcentaje a distintas temperaturas de ensayo al AMBIENTE; y en HUMEDO a 25 °C; y 5 °C respecto a la obtenida en las condiciones patrón de compactación (135 °C y 75 golpes por cara) y puede apreciarse que la temperatura de compactación de la mezcla mejora su compactación y cohesión.

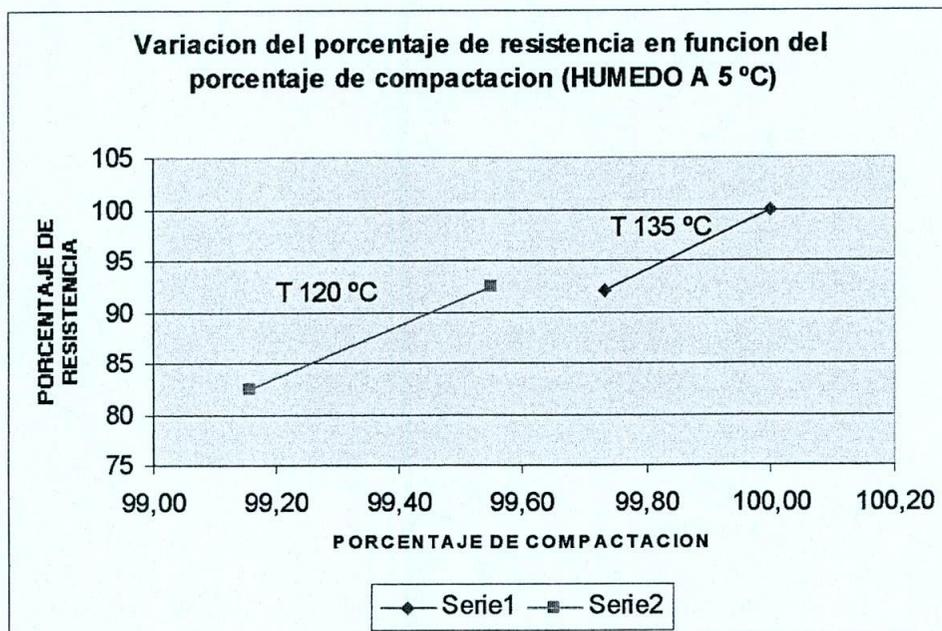
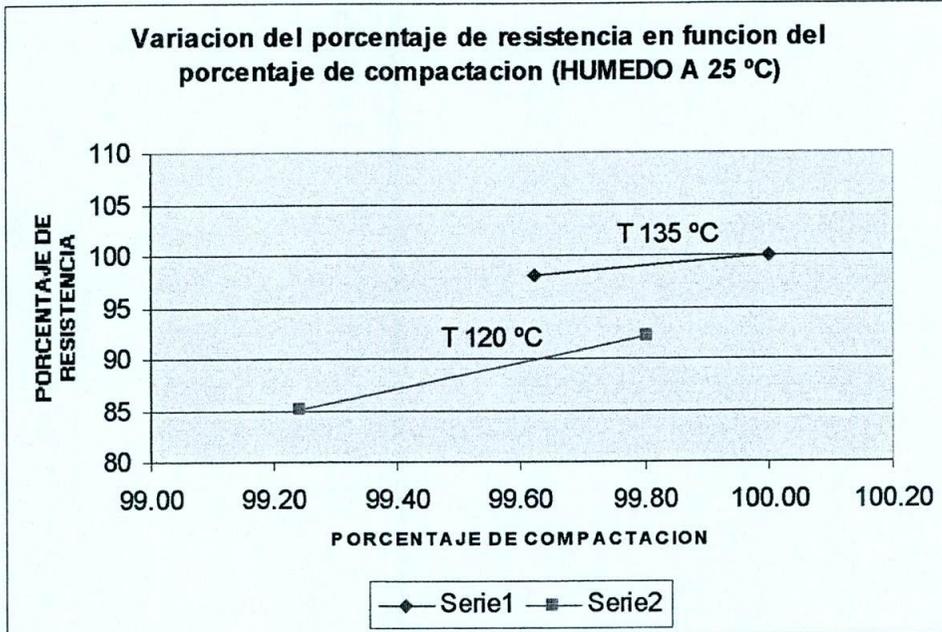
Gráfico 3.2 Variación del porcentaje de resistencia en función del porcentaje de compactación.





“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo III Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.



Es posible obtener la misma compactación con menos temperatura, pero en el gráfico 3.2 se observa que la mezcla compactada a 135 °C presenta una resistencia del orden de un 8 % superior (0.4 -1.0 Kg/cm<sup>2</sup>) que la compactada a



120 °C de probetas ensayadas al AMBIENTE y en HUMEDO a 25 °C, mientras que para las probetas ensayadas en HUMEDO a 5 °C tenemos una resistencia del orden del 8 % superior (1.5- 3.0 Kg/cm<sup>2</sup>). Estos resultados indican entonces que es posible llegar a los niveles de compactación normalmente exigidos en obra del 97-100 % compactando a bajas temperaturas, pero la resistencia de la mezcla se ha reducido notablemente y además esta reducción no se detecta con los procedimientos actuales de control de calidad, basado únicamente en el control de la compactación.

“También se ha analizado el efecto del tipo de ligante sobre la resistencia a tracción indirecta, ensayando mezclas tipo D-20, centradas en el huso, y fabricadas con el 6.0 % de betún B-85/100. Las resistencias más altas se obtienen como es lógico con los betunes de penetración más baja, aunque las diferencias de resistencia observadas entre las mezclas son bajas, éstas pueden aumentar o disminuir más aún de acuerdo a la susceptibilidad térmica e índice de penetración de los betunes empleados.

Además se establece que las máximas resistencias se obtienen en las mezclas densas, relacionadas con las mezclas semidensas y abiertas, debido a que estas presentan un mayor contenido del árido fino. Esto significa que la compactación, el contenido de cemento asfáltico son las variables que mayor efecto tienen sobre la resistencia a tracción indirecta de las ensayadas.”<sup>11</sup>

El efecto de la naturaleza del árido se ha estudiado ensayando una mezcla densa al ambiente y en húmedo tras un día de inmersión en agua a 25° C. La realización de los ensayos en seco muestran diferencias entre las mezclas ensayadas, pero pueden observarse grandes diferencias con los resultados

---

<sup>11</sup> PEREZ F., MIROR., MARTINEZ A., Empleo del ensayo de Tracción Indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto 869-877 Sevilla España 1999.

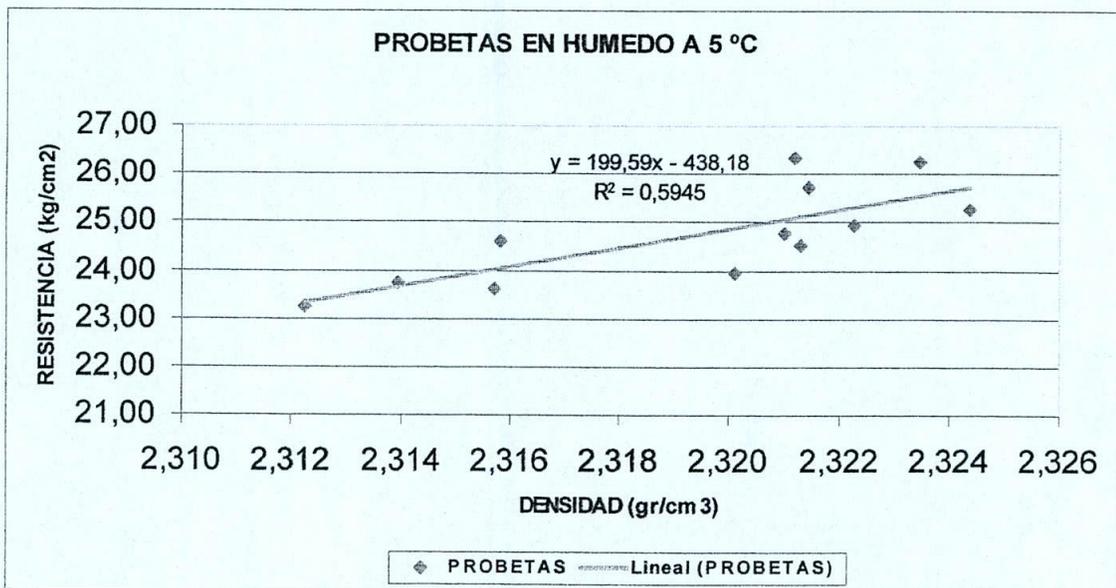


obtenidos en húmedo, las resistencias bajan notablemente por efecto de la saturación.

### 3.3 Aplicación del ensayo de tracción indirecta al control de ejecución de la mezcla

El ensayo de tracción indirecta (Norma NLT 346/90 ; ASTM-283) ha sido aplicado en el control de calidad de mezclas asfálticas colocadas en obra realizada en el Tramo III de la Vía Oña-Loja. Se ha estudiado en mezclas densas D-20 mm. Las nubes de puntos obtenidas para cada caso se distribuyen de forma aproximadamente lineal y las pendientes de las rectas calculadas por regresión pueden agruparse con tendencias paralelas en muchos casos. Existe una relación entre la compacidad y la resistencia a tracción indirecta para toda la mezcla estudiada, como se observa en la gráfico 3.3

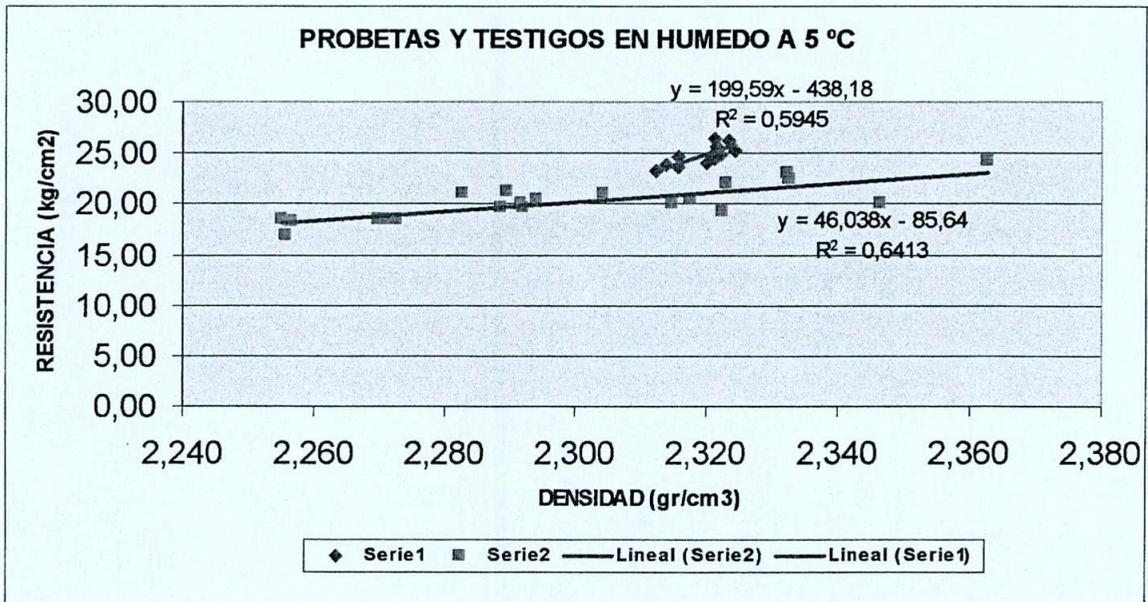
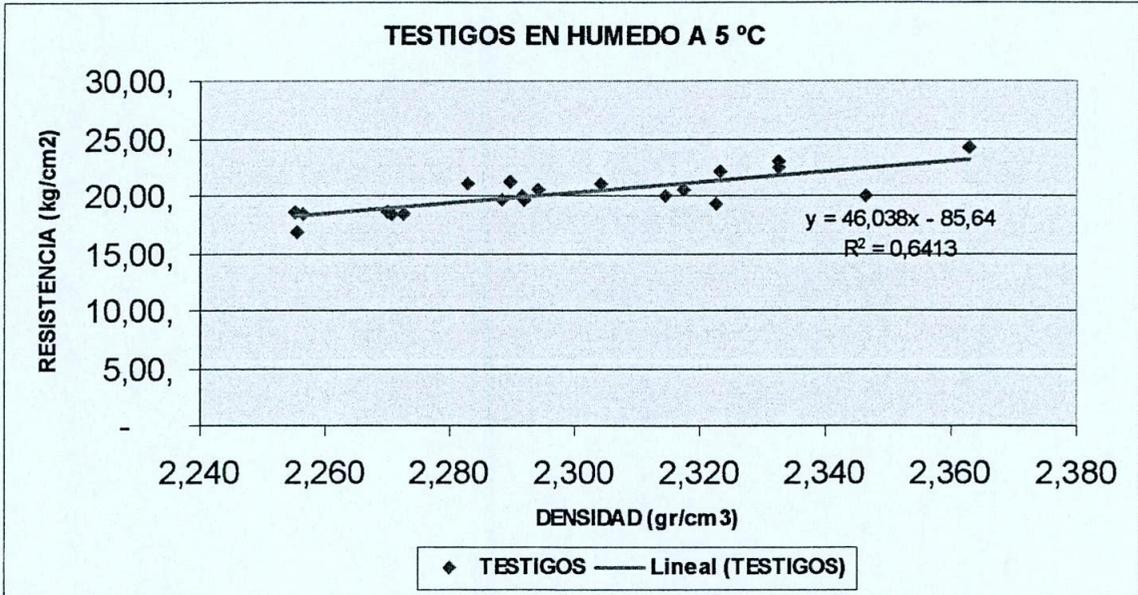
Gráfico 3.3 Correlación resistencia - densidad con probetas y testigos. Mezcla D-20.





“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

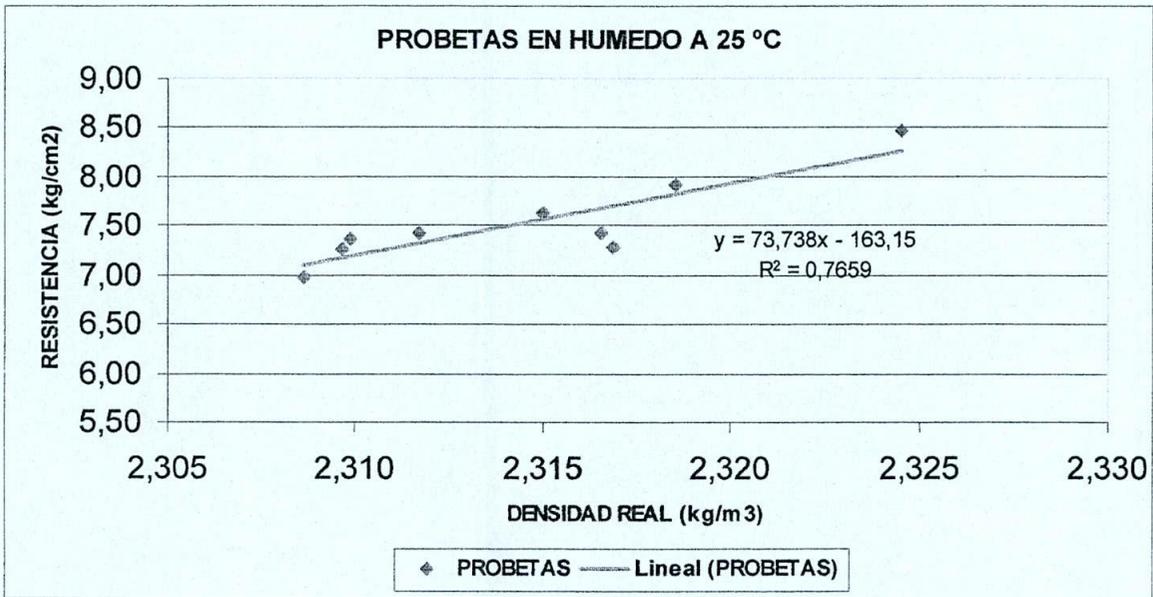
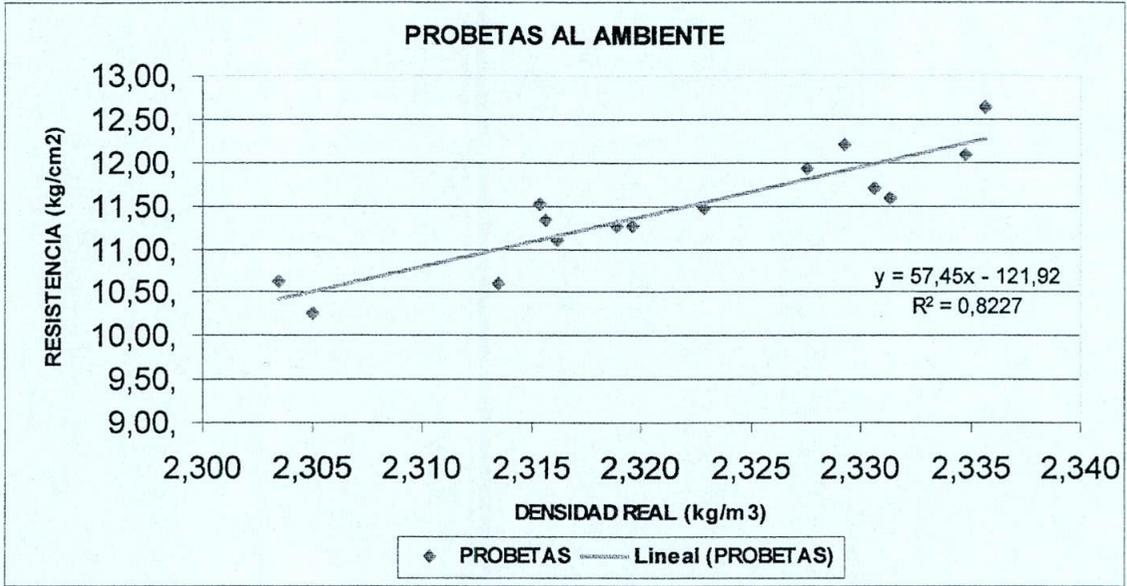
Capítulo III Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.





# “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo III Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.



En la tabla 3.1 se han recogido, para las diferentes capas asfálticas controladas, los valores de compactación y resistencia media encontrada. En la misma tabla se observa también, para cada tipo de mezcla empleada, la resistencia obtenida en



laboratorio en probetas fabricadas con el 6,0 % de B-85/100 y áridos provenientes del Río Boquerón.

Tabla 3.1 Valores de compactación, C (%), y resistencias medias,  $\sigma$ . (kg/cm<sup>2</sup>)

TIPO DE MEZCLA	PROP.	TESTIGOS DE OBRA	LABORATORIO
D - 20	C	97	100
D - 20	$\sigma$	19,56	25,14

El análisis de la tabla permite resumir lo siguiente:

Las mezcla asfáltica D-20 tiene resistencias en obra que varían entre 8 y 27 (kg/cm<sup>2</sup>), con porcentajes de compactación que alcanzan el 97%, mientras que en laboratorio se obtienen resistencias que van desde 23 a 28 (kg/cm<sup>2</sup>).

Estas mezclas son las que presentan mayores diferencias entre la compacidad y resistencia obtenidas en obra y en laboratorio. Han sido ejecutadas normalmente en capas delgadas de 2 y 3 pulgadas, y ponen en evidencia el problema existente en la ejecución de estas capas, pues mezclas trabajables y fáciles de compactar en laboratorio, presentan una menor compacidad y resistencia en obra. La razón de esta diferencia puede ser la disminución de temperatura al extender y compactar la mezcla en obra.

Con el objeto de comprobar si los resultados de los ensayos obtenidos de la extracción de testigos de obra, corresponden con los de las probetas fabricadas en laboratorio, y así poder tomar esto de referencia, se diseñó una mezcla de las mismas características, (cemento asfáltico y áridos) los mismos que se utilizó en la vía Oña – Loja, Tramo III, reproduciendo las granulometrías de la mezcla D-20,



fijando el mismo porcentaje de betún empleado como promedio en la ejecución de obra.

Los resultados analizados muestran que la resistencia de los testigos disminuye en la mayoría de los casos con respecto a la correspondiente a las probetas. En las probetas moldeadas en laboratorio, las densidades son prácticamente iguales, mientras que la resistencia de los testigos ha disminuido 5 Kg/cm<sup>2</sup>. Las diferencias entre probetas y testigos se deben a que en laboratorio las probetas se fabrican a una mayor temperatura, por lo tanto sus densidades y sus resistencias son mayores.

### **3.4 Análisis de resultados de resistencias obtenidas.**

#### **3.4.1 Criterios de calidad propuestos.**

Tras la aplicación del ensayo sobre testigos extraídos y su comparación con los obtenidos en probetas, se ha observado que las rectas de regresión resistencia-densidad presentan una tendencia a alcanzar, para el 100% de compactación, la resistencia de las probetas fabricadas en planta, a pesar de la diferencia, mayor será la calidad conseguida, convirtiéndose por tanto en un factor de calidad conseguida en la ejecución de la obra.

También se han podido establecer un nivel mínimo de resistencia a exigir de acuerdo a este tipo de mezcla empleada y a su granulometría:

**Mezclas D - 20:** 25 (kg/cm<sup>2</sup>).



Se define además un factor de calidad de la obra relacionados con la resistencia media de las probetas, la resistencia media de los testigos y la compactación mínima exigida en obra, dado por la siguiente expresión:

$$FC = [R_p - (100 - \%C) * b] - R_t$$

Donde:

*R<sub>p</sub>*: resistencia media de las probetas.

*C*: porcentaje de compactación exigido en %.

*b*: pendiente de la correlación obtenida para los testigos entre la resistencia y la compactación.

*R<sub>t</sub>*: resistencia media de los testigos.

La expresión dentro del corchete representa la resistencia teórica de los testigos, teniendo en cuenta la menor compactación exigida en obra. La diferencia máxima que podría admitirse entre estas dos resistencias en una obra bien realizada, considerando que la resistencia de los testigos puede ser un poco menor por su superficie irregular y las posibles dispersiones del ensayo, no debería superar los 4 (kg/cm<sup>2</sup>).

# **CAPITULO 4**

**CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL  
ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA.**



## 4. CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA.

### 4.1 Procedimiento general.

La investigación se realizó en pavimentos de la vía OÑA – LOJA (Tramo III), los que se construyeron con las Especificaciones Generales del MOP-001-2002 del Ecuador. El test de tracción indirecta no se empleó como control en la obra ya que no forma parte de las especificaciones vigentes.

En esta investigación se analizan los resultados aplicando el ensayo de Tracción Indirecta a testigos extraídos en obra de la vía Oña - Loja de nuestra ciudad, comparándolos con probetas que reproducen las características de obra (agregados de planta, cemento asfáltico 85/100) las cuales se confeccionaron en laboratorio.

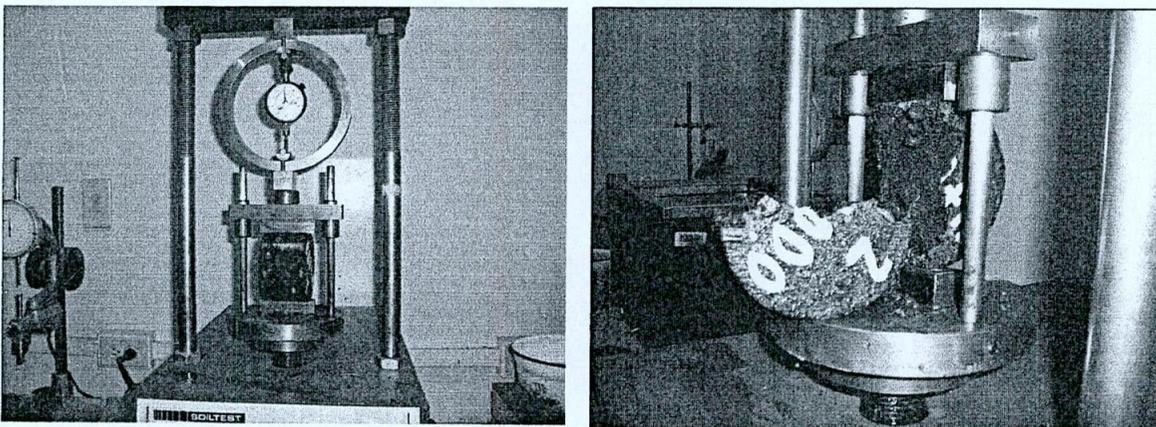


Foto 4.1 Equipo para ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

Para determinar la resistencia a tracción indirecta se somete a compresión axial la probeta, aplicando una carga estática a una velocidad constante de deformación de 50.8 mm/min, a una temperatura de 5 °C.

El test se realiza con el equipo Marshall el cual permite aplicar la velocidad de deformación especificada, pero este se ha equipado especialmente con la prensa Lottman que permite disponer la probeta de manera horizontal y hacer efectiva la carga aplicada.

### **4.2 Materiales.**

Considerando el diseño Marshall de la planta asfáltica, se confeccionaron probetas con las siguientes características: Cemento asfáltico 85/100, áridos de procedencia río Boquerón del Cantón Catamayo, Provincia de Loja.

De acuerdo a las características de los áridos y a las especificaciones de las obras los materiales que se utilizaron se encuentran dentro de las especificaciones del Manual del Ministerio de Obras Publicas vigentes en nuestro país.

De acuerdo al Marshall de diseño se utilizó 6.0 % de asfalto referido a los agregados pétreos y la temperatura de mezclado utilizada fue 150 °C, la densidad Marshall utilizado en el laboratorio fue de 2316 Kg. /m<sup>3</sup>.



### **4.3 Desarrollo de la investigación.**

A fin de comparar los resultados obtenidos del ensayo de los testigos extraídos de la vía Oña – Loja con probetas elaboradas en laboratorio, fue necesario reproducir las mismas características del Marshall de Planta en Laboratorio, de manera de tener un valor de referencia.

De acuerdo a los datos anteriormente mencionados se confeccionaron probetas, reproduciendo las características de la mezcla que se utiliza en obra, con la granulometría indicada por laboratorio y (6.0 %  $\pm$  0.3 %) de cemento asfáltico 85/100, probetas con la temperatura de mezclado 150° C. La compactación de probetas se realizó en forma mecánica mediante el martillo Marshall (75 golpes por cara) según LNV 24, ASTM D1559, AASHTO T245 y temperatura de compactación 135° C.

Se determinó la densidad real mediante el procedimiento que se describe en las normas LNV-13, AASHTO T166, ASTM D2726. Se sometieron las probetas a una temperatura de 5 °C, durante 24 horas. Luego se sometieron al test de tracción indirecta utilizando la prensa Lottman y el equipo Marshall.

#### **4.3.1 Confección de probetas.**

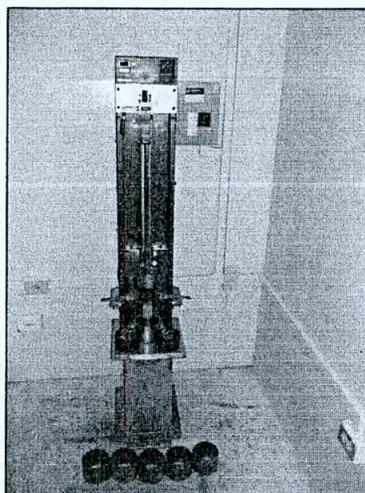
De acuerdo a la granulometría se confecciono probetas con 1200 grs. de áridos los que son mezclados con el cemento asfáltico (6.0 %) a una temperatura de 150 °C.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

Enseguida se llena el molde y se somete a compactación con martillo Marshall a una temperatura de 135 °C (75 golpes por cara).



**Foto 4.2 Compactador**

Se enfrían los ejemplares en el molde a temperatura ambiente tan rápido como sea posible colocándolos en un lugar con ventilación, se extraen desde el molde.

Posteriormente se determina la altura y diámetro de los ejemplares con pié de metro en tres lugares y se anota el promedio aproximándolo a 0.1 mm.

Se determina la densidad real de mezclas compactadas (LNV 13-86, AASHTO T166, ASTM D2726), para ello es necesario conocer los pesos de cada uno de los ejemplares: peso seco, peso sss y peso bajo agua.



#### 4.3.2 Probetas con 97 % de la densidad Marshall

Con similares características: Porcentaje de asfalto, granulometría se espera determinar el número de golpes hasta obtener aproximadamente un 7 % de vacíos de aire. Para estimar este número, se compactan juegos de tres probetas de ensayo variando el número de golpes (24, 26, 28), posteriormente se anotan los resultados y se extrapola un número estimado de golpes necesarios desde un gráfico. Todo esto con el objeto de reproducir el porcentaje de compactación de la mezcla asfáltica en el momento que es colocada en las vías urbanas.

#### 4.3.3 Toma de testigos en la vía Oña - Loja.

Para la toma de testigos se contó con el permiso correspondiente de la Compañía Constructora COLISA, por ello se tomaron muestras cada kilómetro en un tramo comprendido del proyecto de rehabilitación Oña – Loja (Tramo III) desde la abscisa 70+000 hasta 103+520.

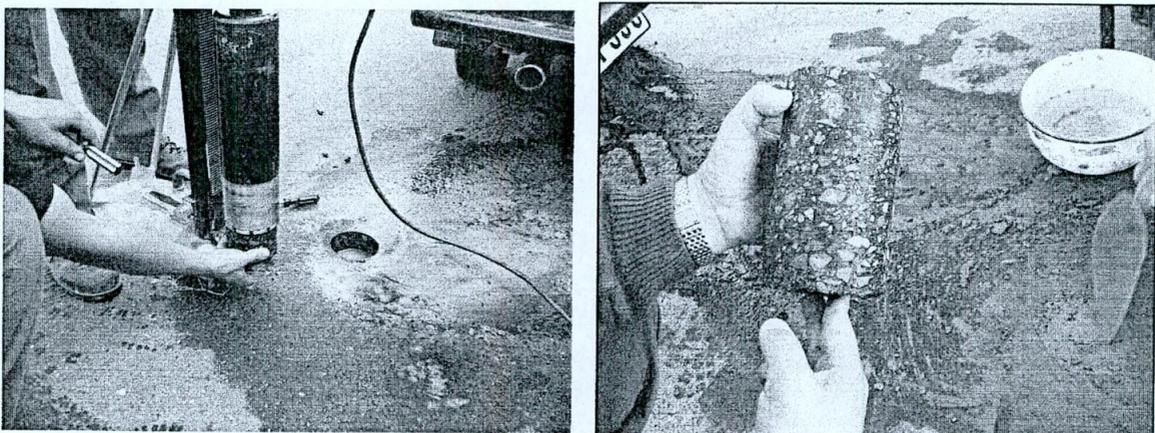


Foto 4.3 Equipo para Extracción de Núcleos



## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

Se extrajeron testigos de 2 y 3 pulgadas (90.50 mm) de diámetro, éstos se cortaron para obtener superficies paralelas entre sí y al mismo tiempo perpendiculares al plano de falla del ensayo.

Los orificios en el pavimento producto de las muestras tomadas se cubrieron con mezcla de hormigón hidráulico con el fin de evitar la filtración del agua y deterioramiento de la carpeta asfáltica.

### **4.3.4 Ensayo de Tracción Indirecta.**

El ensayo de Tracción Indirecta consiste en ensayar los especímenes a compresión diametral aplicando una carga estática a una velocidad constante de 50,8 mm/min a una temperatura de 5 °C.

Las probetas se someten a una temperatura de  $5^{\circ} \text{C} \pm 0.5$  durante 24 horas. Esto permite que la mezcla se comporte como un material rígido, y su resistencia máxima de rotura está relacionada con la compactación de la mezcla, con la dureza de los áridos y con el porcentaje y calidad del cemento asfáltico, factores todos ellos que determinan la calidad de la mezcla y su ejecución.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

Con los antecedentes recogidos se procede a calcular la resistencia a tracción indirecta a través de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2 * Q}{H * D * \pi}$$

Donde:

*T: es la resistencia a Tracción Indirecta expresada en kg/cm<sup>2</sup>*

*Q: es la carga de falla de la probeta*

*H: es la altura de la probeta en (cm)*

*D: es el diámetro de la probeta en (cm)*

#### 4.4 Resultados

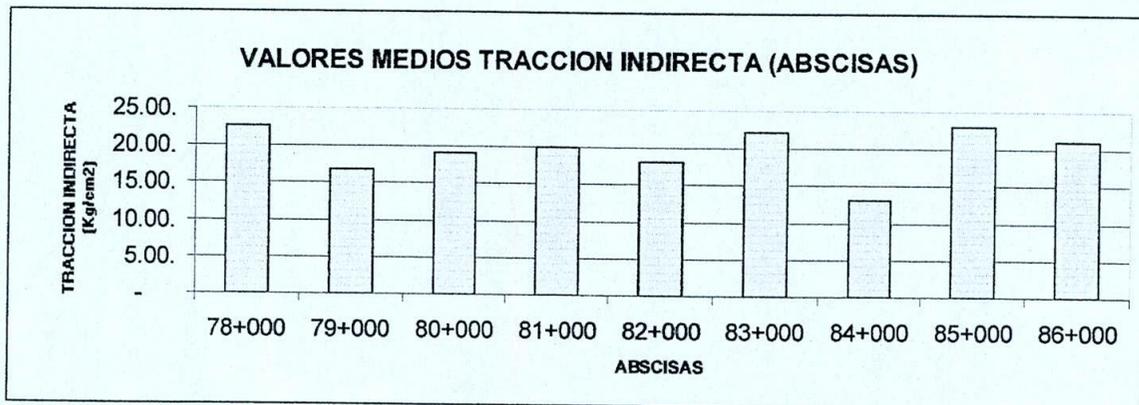
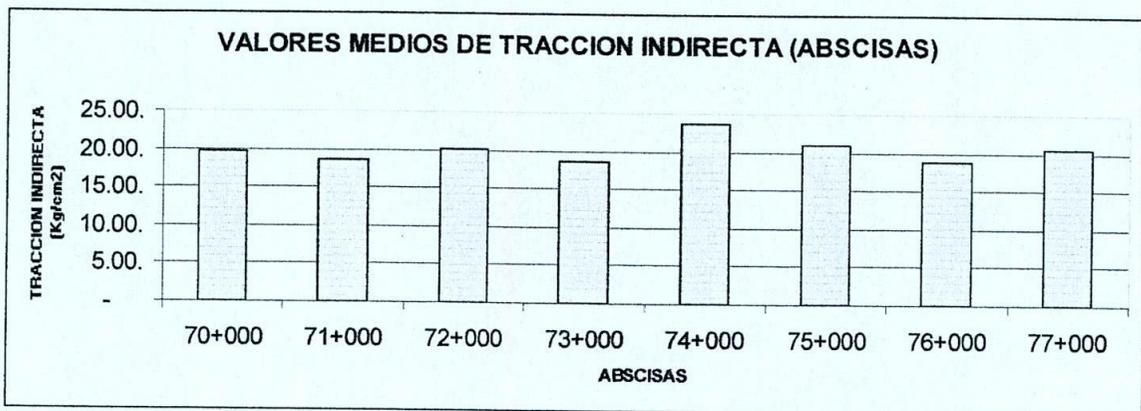
Se procedió a repetir la dosificación Marshall en Laboratorio (de acuerdo al diseño de mezcla asfáltica correspondiente al Tramo III de la vía OÑA - LOJA), de esta manera se procedió a la confección de 15 probetas en laboratorio y a la extracción de 34 testigos que fueron ensayados a tracción indirecta. En el gráfico 4.1 se observan los valores medios de tracción indirecta de cada abscisa.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

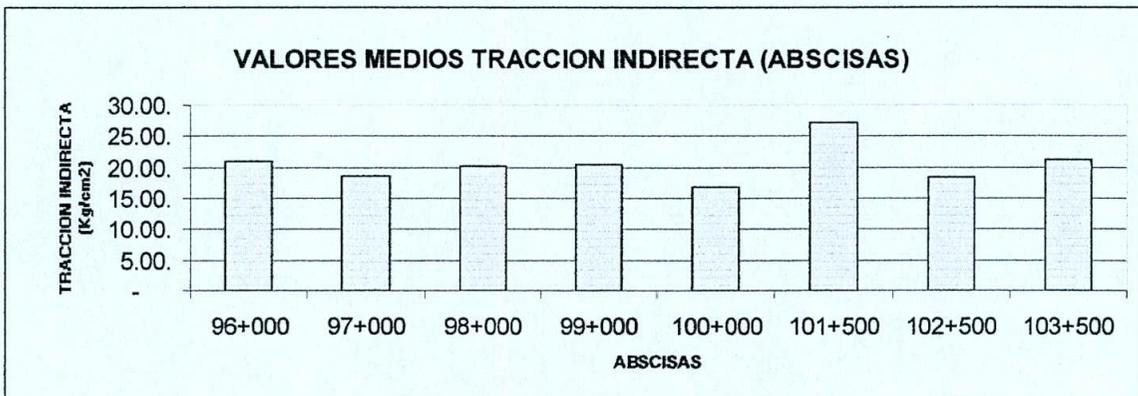
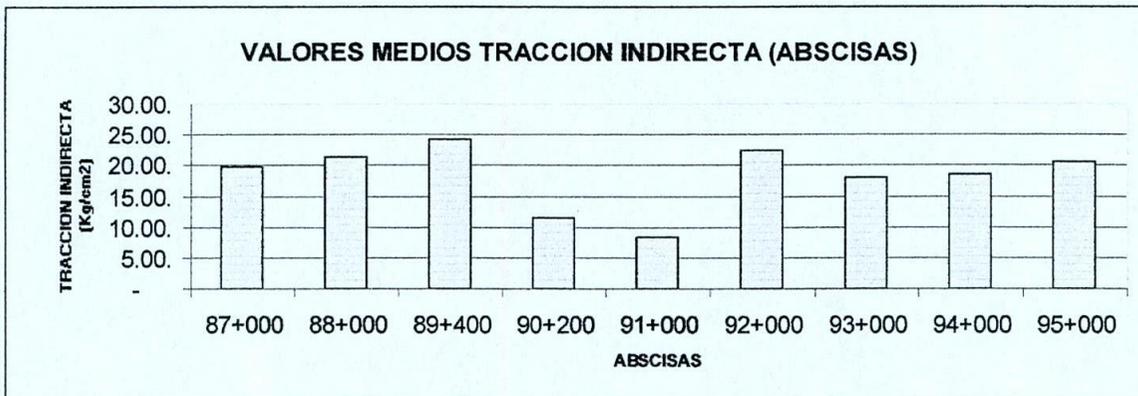
Gráfico 4.1 Valores Medios Tracción Indirecta (Abcisis)





## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.



En el gráfico 4.1 se puede ver la situación particular de cada testigo de las diferentes abscisas, el gráfico entrega una idea general de la realidad de la construcción de la vía Oña – Loja (Tramo III). Los valores medios se encuentran entre 8 y 27 (kg/cm<sup>2</sup>) aproximadamente.

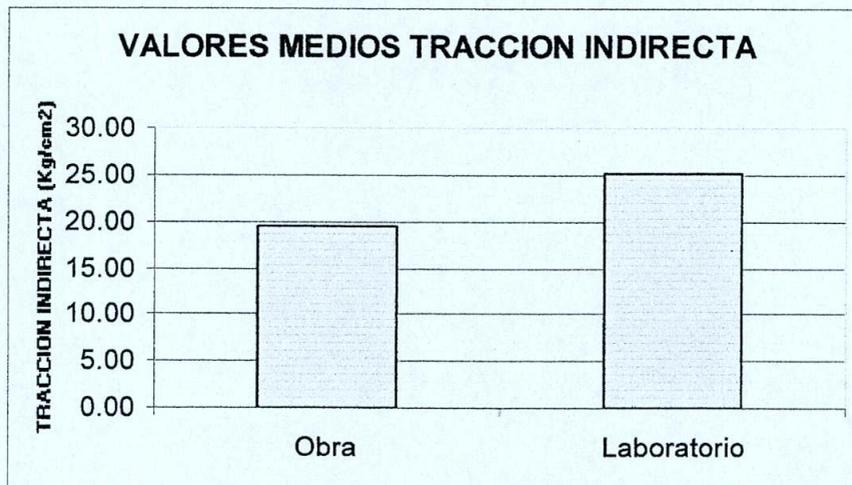


## “EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capitulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

En el gráfico 4.2, se pueden observar los valores medios del ensayo de tracción indirecta en ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), los valores para probetas de laboratorio, así como el valor medio que arrojó el análisis de testigos de la vía Oña – Loja (Tramo III).

**Gráfico 4.2 Valores Medios Tracción Indirecta**



Valor mínimo a exigir de Resistencia a la Tracción Indirecta:

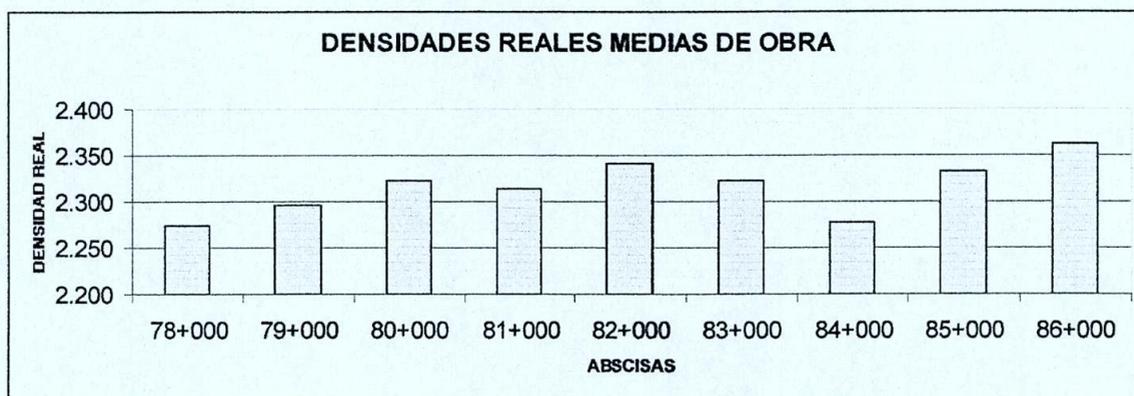
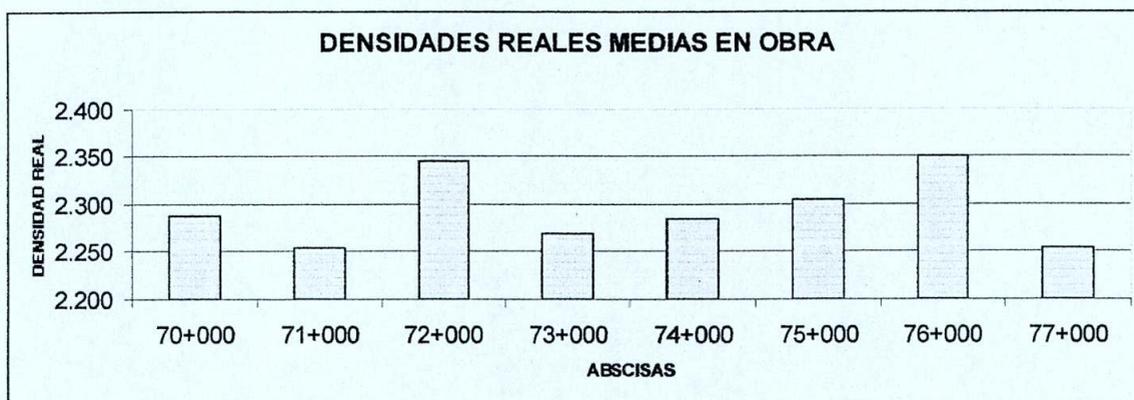
Mezclas D - 20: 25 Kg/cm<sup>2</sup>



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

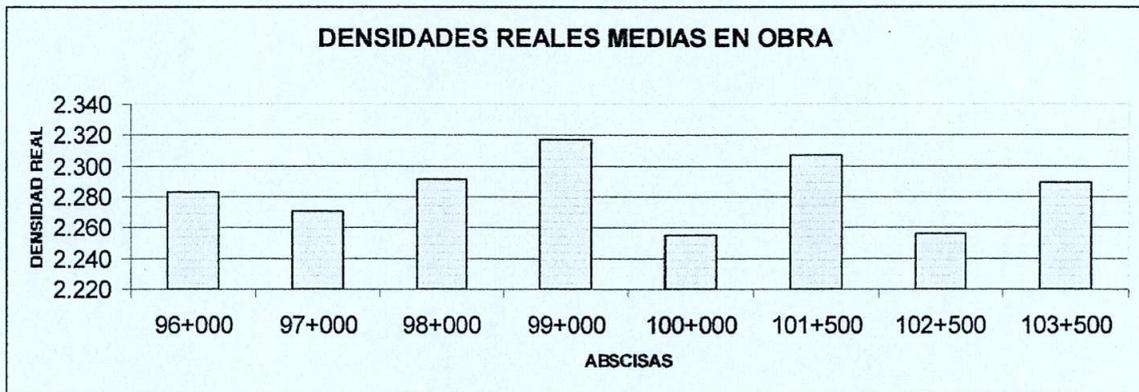
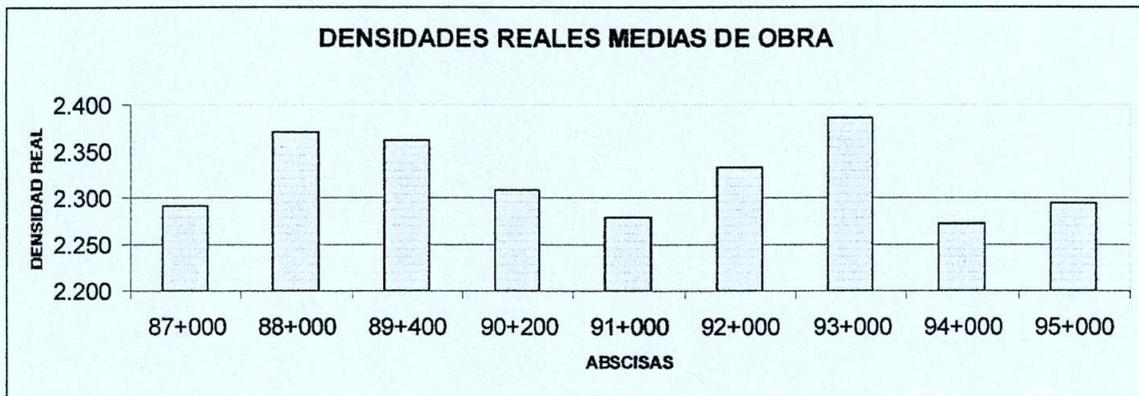
**Gráfico 4.3 Densidades Reales Medias de Obra.**





“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

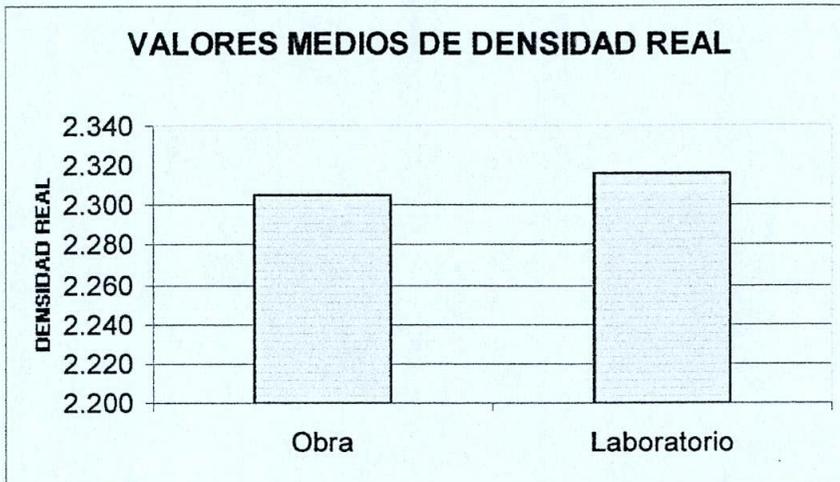
Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.



El gráfico 4.3 presenta realidad de la obra y es posible observar una variación en la densidad real entre 2.254 y 2.386 (gr./cm<sup>3</sup>).



Gráfico 4.4 Valores Medios de Densidad Real



En el gráfico 4.4 se pueden observar los valores medios de las densidades reales en (gr. /cm<sup>3</sup>), los valores de probetas de laboratorio, así como el valor medio que arrojó el análisis de testigos extraídos de la vía Oña – Loja que se muestran muy dispersos a la densidad Marshall.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA”

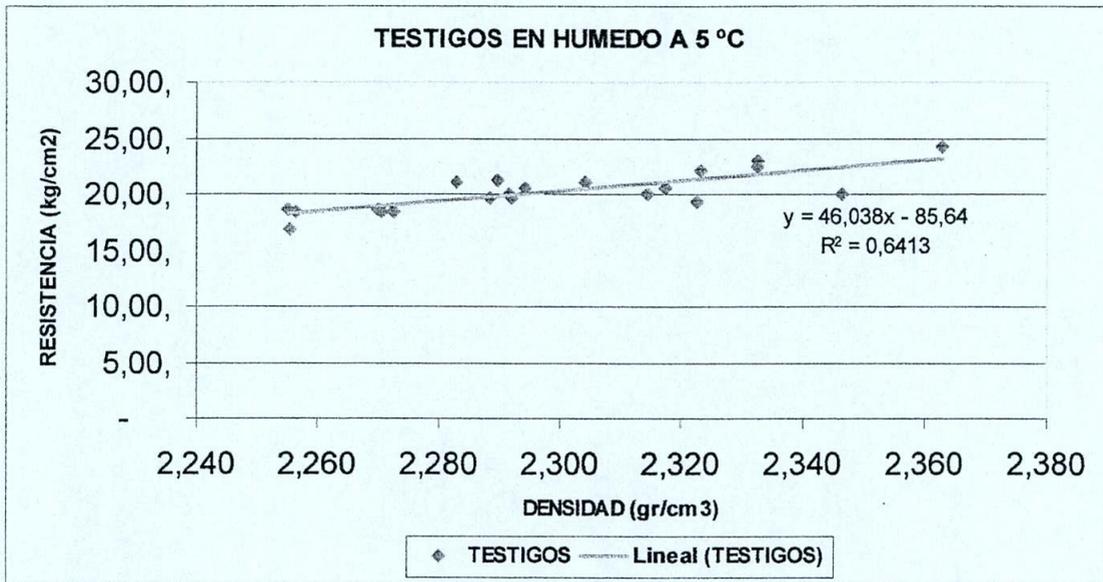
Capítulo IV Control de Calidad de Mezclas Bituminosas Mediante el Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.

<b>TABLA 4.1</b>			
<b>Valores Medios</b>			
		<b>Densidad</b>	<b>Tracción Indirecta</b>
<b>Promedio</b>	Laboratorio	2.316	25.14
	Testigos (obra)	2.305	19.56
<b>Desv. Estándar</b>	Laboratorio	7.88	1.24
	Testigos (obra)	35.45	3.44
<b>Coef. Var.</b>	Laboratorio	0.32	4.94
	Testigos (obra)	1.54	17.6

La tabla 4.1 , resume el análisis de la vía Oña – Loja (Tramo III) , de la cual se extrajeron 34 testigos en 34 kilómetros de colocación de carpeta asfáltica, y en laboratorio se confeccionaron 15 probetas, los valores de la densidad se encuentran en  $\text{gr/cm}^3$  y los valores medios de Tracción Indirecta se encuentran en  $\text{kg/cm}^2$ .



**Gráfico 4.5, Densidad Real (Obra) vs. Tracción Indirecta**



De los resultados obtenidos con el ensayo de resistencia a tracción indirecta en obra es posible observar que existe un coeficiente de correlación desfavorable entre densidad y resistencia a tracción indirecta como se muestra en el gráfico 4.5, además los resultados reproducidos en el laboratorio (según diseño Marshall) entregan valores muy diferentes lo que permite aseverar que existe una correlación medianamente aceptable entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta.

# **CAPITULO 5**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 5.1 CONCLUSIONES.

1. En nuestro país el control de calidad de las mezclas en caliente se realiza verificando: porcentaje de compactación 97% MOP, tomando la compactación del diseño Marshall de la mezcla como 100%. La composición de la mezcla se verifica por medio de ensayos de extracción, determinándose porcentaje de asfalto y granulometría de los áridos siempre con relación al diseño Marshall.
2. La recepción de la mezcla colocada y compactada, consiste en la extracción de testigos para evaluar: su espesor, contenido de ligante, densidad comparada con el valor de referencia determinado según el método Marshall. Con esta metodología no se consideran los parámetros estructurales de la capa asfáltica una vez ejecutada.
3. Considerando que sólo se realiza el control de densidades sobre el producto final, no se tiene certeza sobre la resistencia mecánica de la carpeta, evaluar esta propiedad es una ayuda a garantizar el comportamiento del pavimento y decidir rechazar, multar o aceptar.
4. Además se debe considerar que el control del proceso no se realiza etapa por etapa (transporte, extendido y ejecución) y es allí donde pueden producirse graves errores y deterioros como el escurrimiento de ligante, segregación del árido grueso, trituración del material mineral, etc.
5. El ensayo de tracción indirecta se utilizó en el proyecto de Rehabilitación de la vía Oña – Loja (Tramo III) construido durante los últimos años, se pudo



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

Capítulo V Conclusiones

- observar que gran parte de este pavimento tiene un bajo grado de compactación con relación a la densidad Marshall (2.305 gr/cm<sup>3</sup> testigos y 2.316 gr/cm<sup>3</sup> laboratorio) , esto se debe a que los contratistas no cumplen con las especificaciones del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP) , se debe exigir al personal a su cargo un mejor control en lo que respecta a la temperatura de mezclado y compactación, transporte y tendido de la mezcla asfáltica.
6. Los resultados obtenidos en la aplicación del ensayo de tracción indirecta nos muestran la posibilidad de emplear este ensayo en el control de ejecución de mezclas asfálticas, ya que sus resultados se traducen en características mecánicas del pavimento y esto nos entrega una mejor idea respecto del comportamiento esperado para cualquier pavimento. Además nos permite determinar la variabilidad de la mezcla colocada relacionándola con la variabilidad en laboratorio.
  7. El coeficiente de correlación de 0.6413 obtenido entre densidad real y resistencia a tracción indirecta es desfavorable debido a la variabilidad de sus resultados.
  8. El pavimento analizado tienen un grado aceptable de compactación con relación a la densidad Marshall, esto sólo se explica debido a la especificación existente y a que se trata de capas delgadas. Además se debe considerar que el ensayo Marshall considera otra forma de compactación muy distinta a la que se utiliza en terreno, por lo cual los valores de compactación no debieran sorprender.



9. En resumen es posible apreciar una excesiva variabilidad entre los resultados de laboratorio y la de obra.
10. La mezcla asfáltica al poseer diferentes características reacciona de múltiples formas, por lo tanto, no es simple dar una regla general que permita predecir los potenciales daños a los que será expuesta, pero este ensayo se enfoca directamente sobre la resistencia que debiese alcanzar la carpeta en el momento de ser ejecutada.
11. Con la determinación de la Resistencia a Tracción Indirecta, no sólo se podrá evaluar la calidad de los materiales sino que también la construcción de la carpeta. Este ensayo nos ayudaría a obtener métodos más comprensivos y herramientas analíticas más refinadas para llevar a cabo dimensionamientos por métodos racionales más eficaces y ajustados a las características reales de los materiales.
12. Esta investigación trata de definir conceptos y aplicaciones utilizadas en Barcelona - España con el fin de aportar y recoger la experiencia realizada durante varios años y, mediante la realización del test verificar que es aplicable en cualquier laboratorio.
13. Es de esperar que los actuales métodos para la evaluación estructural de carpetas asfálticas en servicio sean mejorados y/o sustituidos por métodos y equipos que en lo posible se acerquen mucho más a la realidad como por ejemplo adopten el concepto de carga móvil y trabajen a la velocidad del tráfico real.



14. También se han identificado las necesidades de mejoras en el área de la construcción, tomando en cuenta las amplias diferencias apreciadas en los resultados en obra y en laboratorio. Y este punto es necesario enfrentarlo con cambios en las políticas de las empresas asumiendo un sistema de aseguramiento de calidad, que permita verificar en cada uno de los pasos la calidad del producto.
15. Y la manera es incluir cada una de las etapas, desde la selección de los materiales hasta la compactación de las carpetas. Todo esto teniendo en consideración las ventajas en el largo plazo, tanto para la empresa como para los usuarios beneficiados con la mejora en la calidad del producto final, en nuestro caso la carpeta asfáltica.
16. Los valores correspondientes a la consistencia del asfalto mediante el ensayo de Penetración AASHTO T-45 Y ASTM D-5, nos indican un valor más bajo de 74 mm/10, el cual no está dentro del rango del tipo de asfalto utilizado 85-100.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para el empleo de este ensayo, obtener un mínimo de tres núcleos extraídos de obra por cada 10000m<sup>2</sup> ó 1000ton de hormigón asfáltico colocado.
2. A partir del análisis de estos resultados se puede recomendar un valor mínimo de resistencia a exigir de 25 Kg/cm<sup>2</sup>.



“EVALUACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCION  
INDIRECTA”

---

---

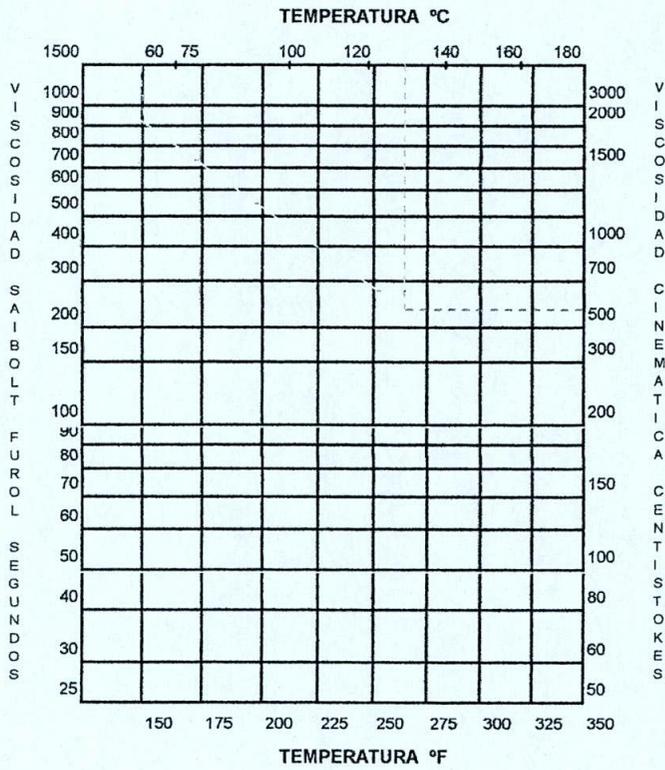
Capítulo V Conclusiones

3. Se recomienda para un diseño de mezcla asfáltica, realizar continuamente ensayos de Penetración, Viscosidad y Punto de Ablandamiento al tipo de cemento asfáltico que se este empleando.
  
4. Realizar un control más riguroso con respecto a las temperaturas de mezclado en planta y de compactación en obra, puesto que es un factor determinante para el funcionamiento de la carpeta asfáltica.

# **ANEXOS**

## Determinación del valor de la viscosidad

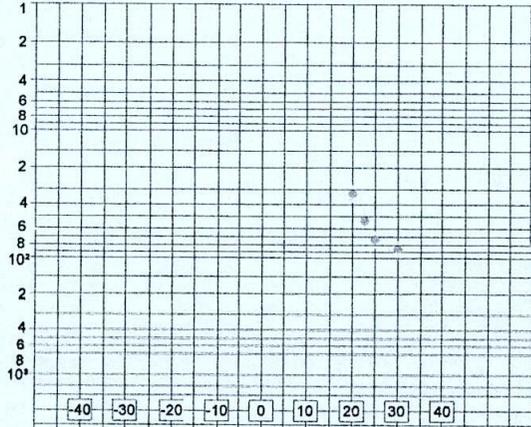
$T^{\circ}\text{C} = 60$                      $t = 923 \text{ seg}$   
 $T^{\circ}\text{C} = 135$                      $t = 246 \text{ seg.}$



**Nota:** La viscosidad cinemática es 576 Centistokes ó 5,76 Poises a una temperatura de 135°C, y a 2025 Centistokes ó 20,25 Poises a una temperatura de 60°C.

PENETRACIÓN  
(0,1 mm)

Punto de Fraas

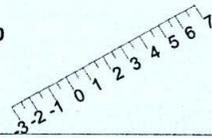


PUNTO DE REFERENCIA

85-100

IP

Nomograma de Heukelom para determinar las temperaturas óptimas de mezclado y compactación en el diseño de mezclas asfálticas en caliente



Punto de Ablandamiento

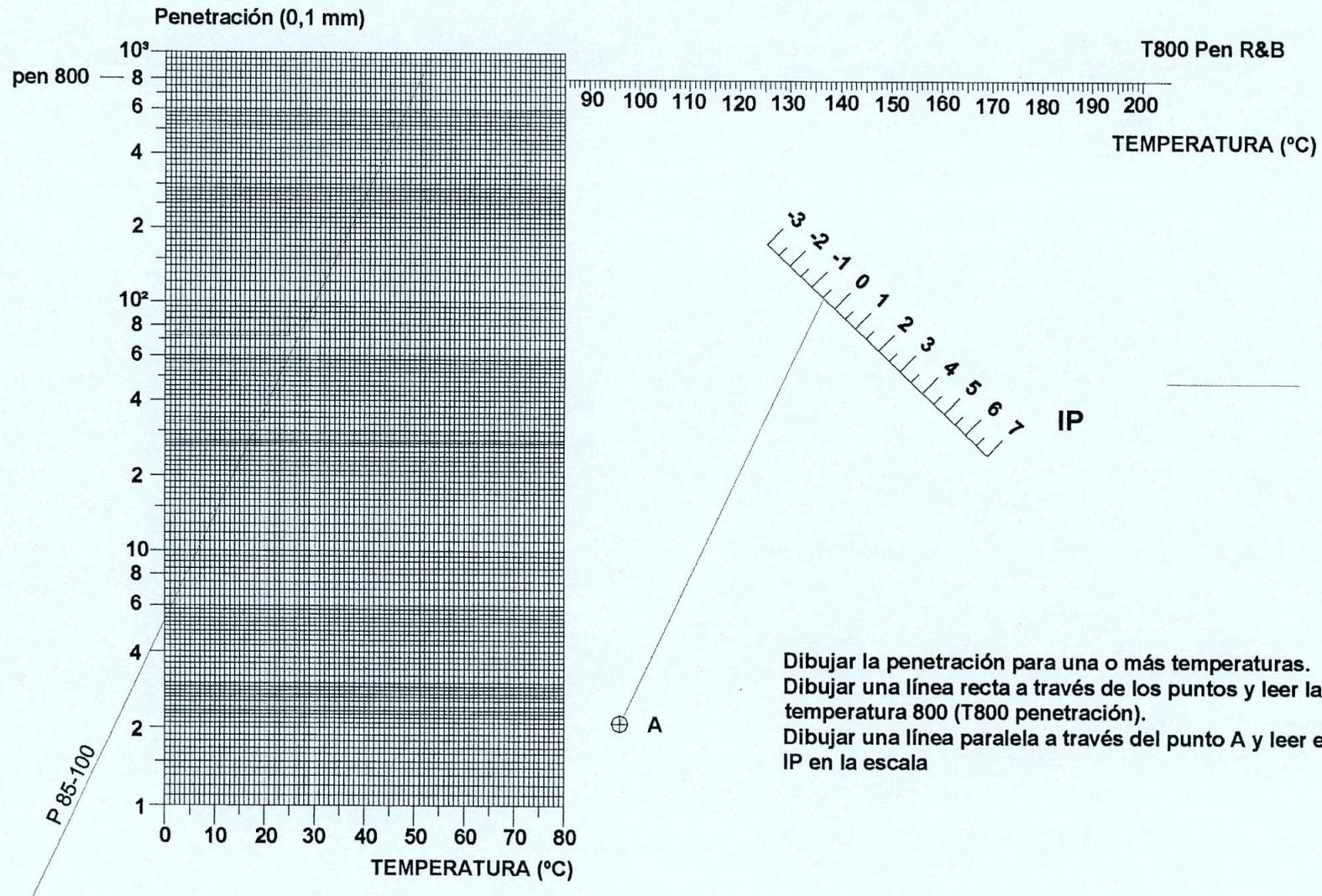
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40

$V_m$  = viscosidad de mezcla  
 $V_c$  = viscosidad de compactación

ASFALTO 85-100  
 $T_{mezcla} = 145\text{ °C}$   
 $T_{compactación} = 136\text{ °C}$

$V_c$  Viscosidad  
 $V_m$  (poises)

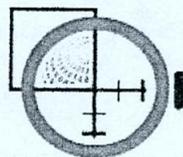
Temperatura (°C) 85-100



P 85-100  
 T800 = 51  
 IP = -0.49

Dibujar la penetración para una o más temperaturas.  
 Dibujar una línea recta a través de los puntos y leer la temperatura 800 (T800 penetración).  
 Dibujar una línea paralela a través del punto A y leer el IP en la escala

Nomograma para determinar el Índice de penetración y la temperatura T800



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

ENSAYO DE PENETRACION Y ABLANDAMIENTO

MUESTRA: ASFALTO 85-100

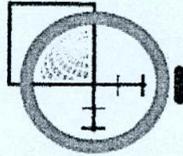
NORMA: AASHTO T-49

FECHA: 26/08/2005

OBRA: MEZCLA ASFALTICA

REALIZADO: Carlos Peralta y  
Milton Quitizaca

TEMPERATURA °C	PENETRACION (0,1 mm)	MASA (gr)
	Asfalto 85-100	
20	33	100
23,5	54	100
25	74	100
30	86	100



**UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA**

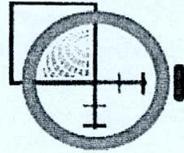
**UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA**

**ENSAYO DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO**

**MUESTRA:** ASFALTO 85-100  
**OBRA:** MEZCLA ASFALTICA  
**NORMA:** AASHTO T-53  
ASTM D2398

**FECHA:** 26/08/2005  
**REALIZADO:** Carlos Peralta y  
Milton Quituzaca

ENSAYO	TEMPERATURA (°C)
1	51
2	52
Promedio:	52



**UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA**

**UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA**

**ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACION Y COMBUSTION**

**MUESTRA:** ASFALTO 85-100  
**OBRA:** MEZCLA ASFALTICA  
**NORMA:** AASHTO T-48  
ASTM D 92

**FECHA:** 26/08/2005  
**REALIZADO:** Carlos Peralta y  
Milton Quitizaca

ENSAYO	TEMPERATURA (°C)
Inflamacion	267
Combustion	320

# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA

PROYECTO: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA  
 OBRA: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

Fecha: 30-Jun-05  
 Realizad Carlos Peralta  
 Milton Quituzaca

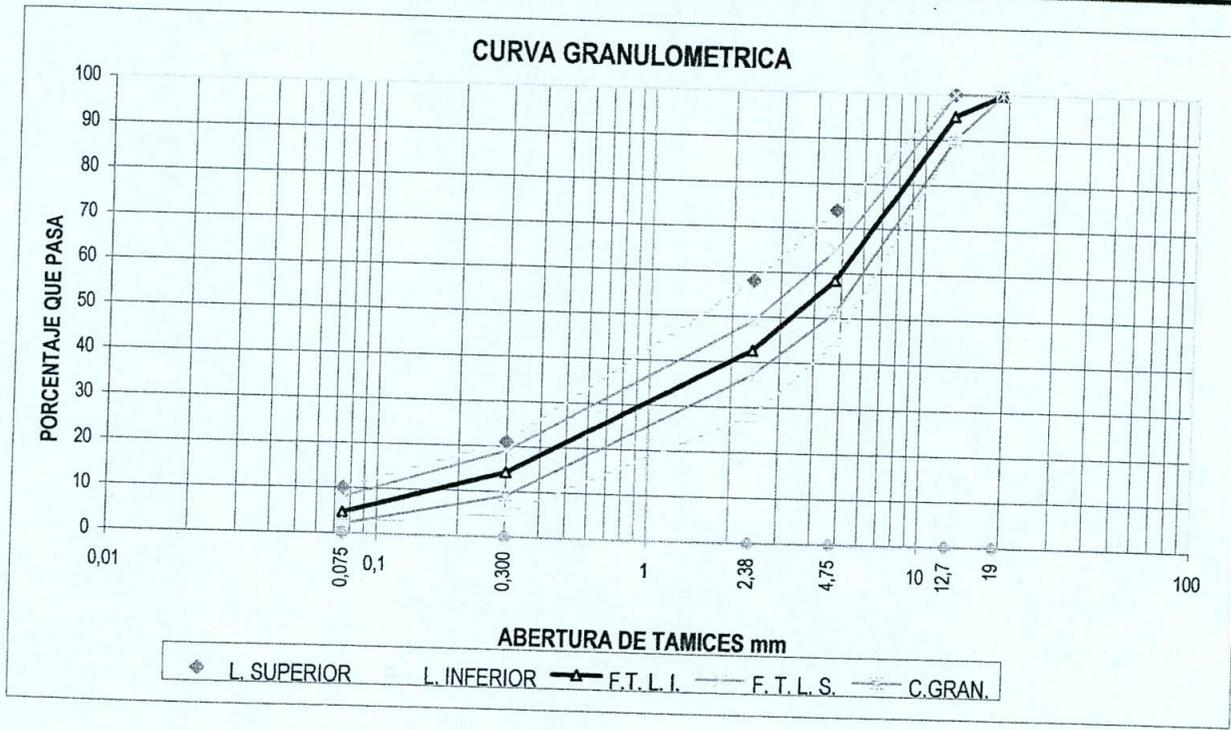
GRADUACION DEL MATERIAL								
FRACCIÓN	TAMANO DEL TAMIZ (PORCENTAJE QUE PASA)							
	1"	3/4"	1/2"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200	
Triturado 3/4"	100,0	100,0	72,0	1,0	0,0	0,0	0,0	
Triturado 3/8"	100,0	100,0	100,0	55,0	35,0	14,0	6,0	
Arena	100,0	100,0	100,0	93,0	76,0	22,0	5,0	

GRADUACION COMBINADA DE LA MEZCLA. PRUEBA Nº 1								
FRACCIÓN	Porcentaje usado	TAMANO DEL TAMIZ (PORCENTAJE QUE PASA)						
		1"	3/4"	1/2"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
Triturado 3/4"	17%	17,0	17,0	12,2	0,2	0,0	0,0	0,0
Triturado 3/8"	50%	50,0	50,0	50,0	27,5	17,5	7,0	3,0
Arena	33%	33,0	33,0	33,0	30,7	25,1	7,3	1,7
	100%							

MEZCLA OBTENIDA		100	100	95	58	43	14	5
ESPECIFICACION MOP-001-F-2000	L. Superior	100	100	100	74	58	21	10
	L inferior	100	100	90	44	28	5	2
TOLERANCIA (+/-)		8	8	8	7	6	5	3
FAJA DE TRABAJO	L. Superior	100	100	100	65	49	19	8
	L inferior	100	100	90	51	37	9	2



UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL GEOLOGIA Y MINAS

PROYECTO: TESIS "TRACCION INDIRECTA"  
 PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS: El Boqueron

**RESULTADO DE PRUEBAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE  
 METODO MARSHALL**

Número de golpes por lado: 75 Anillo N° LCB-2 Constante: UTPL 51.621+10.003\*DIAL  
 Gravedad Especifica del C.A. (Ge): 1,015 Grado del Cemento asfáltico: 85 - 100  
 Gravedad Especifica Bulk promedio de agregados: 2,572

MUESTRA	FECHA	% de Asfalto	PESO MUESTRA			VOLUMEN	DENSIDAD			% VOLUMEN			V. A. M.	Asfalto absorbido	V.F.A. %	Porcentaje asfalto efectivo	ESPESOR	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD		FLUJO 0.01"
			AIRE SECO	AIRE S.S.S.	AGUA S.S.S.		BULK Probeta	Máximo Teórico	RICE	AGREG.	VACIOS	C. A.							DIAL	CORREG.	
1	22/07/2005	4,50	1220	1222	669	553	2,207											0,89	202	1844	10
2			1238	1240	683	557	2,225											0,89	230	2094	9
3			1258	1259	691	568	2,214											0,86	220	1937	8
Promedio							2,215	2,408	2,472	82,26	10,38	7,36	17,74	1,16	41,49	3,39				1958	9
1	22/07/2005	5,00	1112	1114	615	499	2,229											1,04	195	2082	9
2			1160	1162	640	522	2,224											1,00	210	2152	10
3			1176	1178	649	529	2,223											0,96	200	1970	11
Promedio							2,225	2,389	2,455	82,19	9,37	8,45	17,81	1,19	47,43	3,87				2068	10
1	22/07/2005	5,50	1179	1181	654	527	2,237											0,96	210	2066	11
2			1164	1165	647	518	2,247											1,00	205	2102	9
3			1229	1231	683	548	2,245											0,89	245	2227	14
Promedio							2,243	2,372	2,433	82,41	7,81	9,78	17,59	1,12	55,59	4,44				2132	11
1	22/07/2005	6,00	1190	1191	674	517	2,303											1,00	230	2352	13
2			1181	1181	671	510	2,314											1,00	245	2502	12
3			1241	1242	704	538	2,308											0,93	235	2234	13
Promedio							2,308	2,355	2,414	84,36	4,38	11,26	15,64	1,10	72,01	4,97				2363	13
1	22/07/2005	6,50	1213	1213	679	535	2,267											0,96	236	2316	15
2			1141	1142	638	504	2,265											1,04	218	2322	14
3			1208	1208	679	529	2,281											0,96	230	2258	13
Promedio							2,271	2,339	2,397	82,56	5,25	12,19	17,44	1,11	69,89	5,46				2299	14
ESPECIFICACION											3 - 5		>13		65-75					1800 -	8 - 16

La mezcla se ha obtenido mezclando los agregados en proporciones del 17% de 3/4", 50% de 3/8 y un 33% de arena.

# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

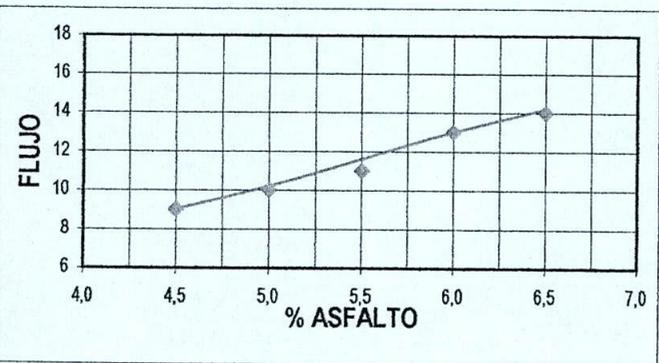
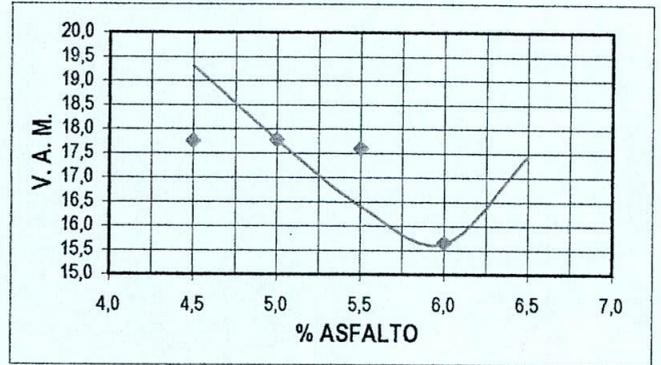
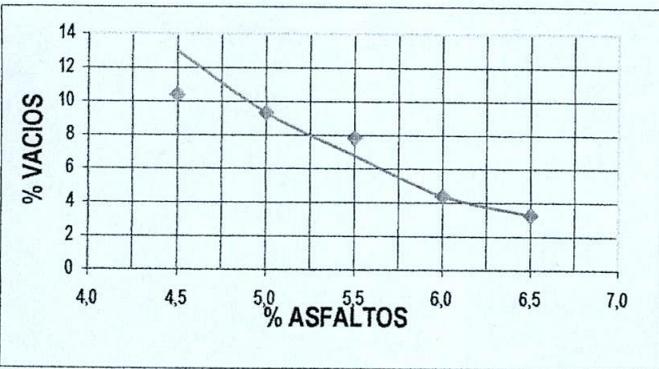
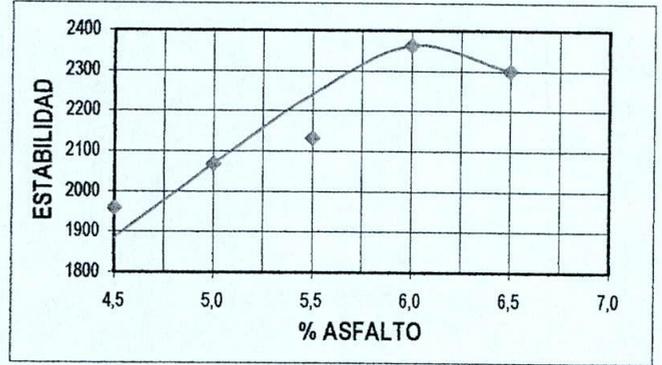
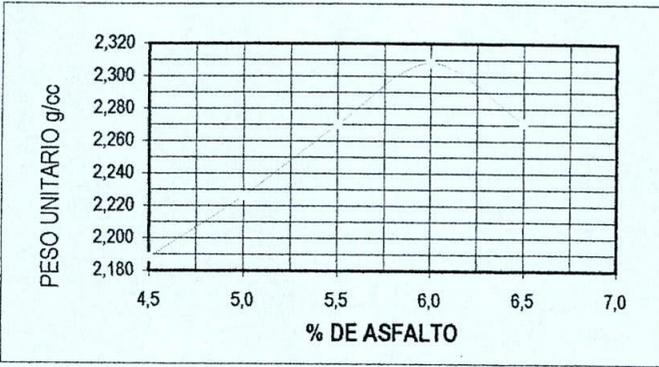
UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL GEOLOGIA Y MINAS

PROYECTO: TESIS "TRACCION INDIRECTA"

FECHA: 22/07/2005

OBRA: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

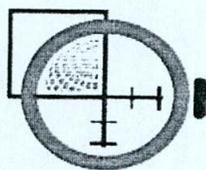
## OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO



### PORCENTAJE OPTIMO DE ASFALTO

Peso unitario	5,9
Porcentaje de vacios	6
Estabilidad	6,05

PROMEDIO	6,0
----------	-----



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION

A 135°C DE TEMPERATURA PRUEBA AL AMBIENTE

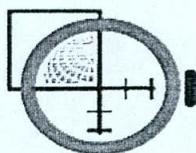
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 18/07/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1259,9	716,5	1261,1	544,6	6,9	2,313	253	10,57
2	1237,1	704,3	1239	534,7	6,87	2,314	250	10,49
3	1206,3	686,2	1207,8	521,6	6,65	2,313	243	10,53
4	1127,8	642,6	1129,3	486,7	6,23	2,317	232	10,73
5	1137,9	649,2	1139,2	490	6,24	2,322	262	12,10
6	1162,7	668,7	1173,9	505,2	6,49	2,301	228	10,12
7	1181,8	669,8	1183,1	513,3	6,42	2,302	237	10,64
8	1072,7	610,2	1074	463,8	5,87	2,313	226	11,09
9	1041,9	590,7	1043,2	452,5	6,28	2,303	240	11,01
10	1046,4	594,8	1048,1	453,3	5,78	2,308	233	11,62
SUMATORIA						23,107		96,80
PROM.						2,311		10,76



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

**MUESTRA:** BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION

A 120°C DE TEMPERATURA PRUEBA AL AMBIENTE

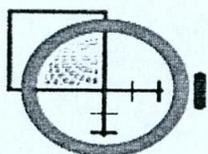
**PROCEDENCIA AGREGADOS:** EL BOQUERON

**NORMA:** AASHTO T-283

**FECHA:** 22/07/2005

**REALIZADO:** Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1260	714,8	1261,8	547	7,02	2,303	241	9,89
2	1154,8	655,5	1156,1	500,6	6,29	2,307	225	10,31
3	1132,1	643,2	1134,2	491	6,64	2,306	235	10,20
4	1200,8	680	1202,1	522,1	6,31	2,300	192	8,77
5	1042,5	592,3	1043,6	451,3	5,84	2,310	208	10,26
6	1095	618,8	1096,7	477,9	6,15	2,291	217	10,17
7	1116,4	632,8	1118,1	485,3	6,28	2,300	219	10,05
8	1162,9	659,1	1164,2	505,1	6,39	2,302	223	10,06
9	1187,7	672,2	1189,1	516,9	6,61	2,298	229	9,98
10	1251,3	709,6	1253	543,4	7,1	2,303	250	10,15
<b>PROM.</b>						<b>2,302</b>		<b>9,98</b>



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION  
A 135°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 25°C

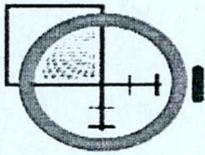
NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 21/07/2005

PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta Nº	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1166,1	663,1	1168	504,9	6,56	2,310	180	7,91
2	1120,5	636,1	1122,1	486	6,26	2,306	170	7,83
3	1231,7	698	1233,3	535,3	6,89	2,301	163	6,82
4	1187,1	673,2	1188,7	515,5	6,66	2,303	167	7,23
5	1271,9	722,9	1273,2	550,3	7,02	2,311	171	7,02
6	1226,2	696,3	1228	531,7	7	2,306	172	7,08
7	1158,8	656,8	1160	503,2	6,58	2,303	175	7,66
8	1188,6	669	1183,1	514,1	6,61	2,312	169	7,37
9	1117,8	634,7	1119,7	485	6,25	2,305	170	7,84
10	1163,1	658,7	1164,6	505,9	6,44	2,299	171	7,65
						<b>2,306</b>		<b>7,44</b>



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

**MUESTRA:** BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION  
A 120°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 25°C

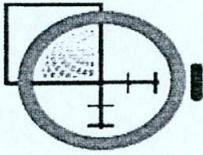
**PROCEDENCIA AGREGADOS:** EL BOQUERON

**NORMA:** AASHTO T-283

**FECHA:** 22/07/2005

**REALIZADO:** Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1207,9	683,9	1209,4	525,5	6,87	2,299	144	6,04
2	1176,4	665,5	1177,9	512,4	6,63	2,296	152	6,61
3	1269	719,4	1271	551,6	7,02	2,301	152	6,24
4	1176,6	664,1	1177,9	513,8	6,7	2,290	158	6,80
5	1089,2	615,9	1090,7	474,8	6,19	2,294	129	6,01
6	1183,9	670,9	1185	514,1	6,64	2,303	149	6,47
7	1140,6	644,4	1141,9	497,5	6,29	2,293	150	6,87
8	1135,9	642,4	1137,3	494,9	6,44	2,295	155	6,94
9	1175,4	666,1	1177	510,9	6,66	2,301	150	6,49
10	1161,5	657,3	1163,1	505,8	6,76	2,296	145	6,18
						<b>2,297</b>		<b>6,46</b>



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION  
A 135°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 5°C

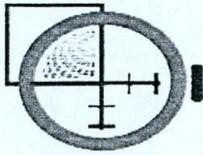
NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 25/07/2005

PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1274,8	722,1	1276,1	554	7,15	2,301	552	22,25
2	1160,5	660,3	1162,1	501,8	6,44	2,313	540	24,16
3	1193,3	676,9	1195	518,1	6,68	2,303	535	23,08
4	1200,5	681,6	1201,8	520,2	6,7	2,308	518	22,28
5	1207,3	687	1209,1	522,1	6,56	2,312	518	22,75
6	1138,9	647,3	1139,7	492,4	6,35	2,313	502	22,78
7	1194,7	680,3	1196,1	515,8	6,67	2,316	540	23,33
8	1227,8	697,6	1229,3	531,7	6,85	2,309	552	23,22
9	1188	675,9	1189,7	513,8	6,63	2,312	540	23,47
10	1133,5	645,2	1135	489,8	6,19	2,314	513	23,88
						<b>2,310</b>		<b>23,12</b>



**UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA**

**UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA**

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA**

**MUESTRA:** BRIQUETAS CON 50 GOLPES DE COMPACTACION  
A 120°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 5°C

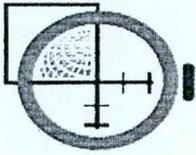
**NORMA:** AASHTO T-283

**FECHA:** 25/07/2005

**PROCEDENCIA AGREGADOS:** EL BOQUERON

**REALIZADO:** Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1151,1	651,9	1152,8	500,9	6,44	2,298	465	20,81
2	1187,9	671,6	1189,1	517,5	6,59	2,295	457	19,98
3	1086,2	614,9	1087,9	473	6,08	2,296	432	20,47
4	1158,5	656,2	1159,7	503,5	6,4	2,301	475	21,39
5	1133,9	640,4	1135	494,6	6,43	2,293	480	21,51
6	1102,5	625,1	1104,1	479	6,13	2,302	465	21,86
7	1277,9	723,1	1279,4	556,3	7,09	2,297	490	19,92
8	1085,2	614,8	1087,1	472,3	5,96	2,298	422	20,40
9	1058,6	597,2	1059,9	462,7	5,95	2,288	420	20,34
10	1141,3	647,5	1143,5	496	6,15	2,301	440	20,62
						<b>2,297</b>		<b>20,73</b>



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION

A 135°C DE TEMPERATURA PRUEBA AL AMBIENTE

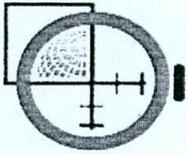
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 28/07/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1134,6	648,6	1135,7	487	6,26	2,329	265	12,20,
2	1189,4	679,8	1190,8	511	6,52	2,328	270	11,93,
3	1134,2	649,6	1135,2	486	6,2	2,336	272	12,64,
4	1241,2	706,1	1242,6	537	6,93	2,314	255	10,60,
5	1180,4	671,9	1181,7	510	6,56	2,315	262	11,51,
6	1201,4	685,8	1203	517	6,53	2,323	260	11,47,
7	1200,2	683,7	1202	518	6,66	2,316	262	11,34,
8	1261,8	715,6	1263	547	7,08	2,305	252	10,26,
9	1250,6	708	1250,9	543	6,97	2,304	257	10,63,
10	1295	737,7	1296,8	559	7,16	2,316	276	11,11,
11	1169,4	669	1170,6	502	6,34	2,331	255	11,59,
12	1180,1	672,9	1181,8	509	6,57	2,319	257	11,27,
13	1270,6	726,7	1270,9	544	6,99	2,335	293	12,08,
14	1177,9	673,3	1178,7	505	6,58	2,331	267	11,69,
15	1246,8	710,4	1247,9	538	6,85	2,320	268	11,27,
Promedio:						2,321		11,44,



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION

A 120°C DE TEMPERATURA PRUEBA AL AMBIENTE

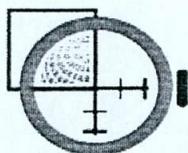
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 28/07/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1181,9	671	1182,8	512	6,59	2,309	238	10,41
2	1226,2	696,1	1227,9	532	6,86	2,306	243	10,21
3	1238,4	701,5	1239,5	538	6,96	2,302	235	9,73
4	1177,7	669,3	1179	510	6,53	2,311	243	10,72
5	1231,7	697,7	1232,9	535	6,83	2,301	242	10,21
6	1244,8	707,5	1245,7	538	6,83	2,313	247	10,42
7	1105,1	628,2	1107	479	6,18	2,308	238	11,10
8	1214,7	688,9	1215,6	527	6,76	2,306	243	10,36
9	1226,9	697,8	1228,1	530	6,72	2,314	242	10,38
10	1246,2	706,9	1247,2	540	6,98	2,306	243	10,03
11	1043,9	599	1045	446	5,76	2,341	239	11,96
12	1248,6	706,8	1250	543	7,01	2,299	248	10,19
13	1077,2	614,9	1079,1	464	5,94	2,321	235	11,40
14	1165,3	662,3	1167	505	6,39	2,309	234	10,55
15	1169,7	662,9	1171,1	508	6,56	2,302	247	10,85
Promedio:						2,310		10,57



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION

A 135°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 25°C

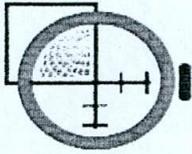
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 29/07/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1183,9	675,8	1185,1	509,3	6,37	2,325	187	8,46
2	1203,8	687	1205,1	518,1	6,77	2,323	168	7,15
3	1188,1	675,5	1189,9	514,4	6,55	2,310	165	7,26
4	1159,5	661,6	1161,7	500,1	6,51	2,319	179	7,92
5	1283,6	729	1285	556	7,07	2,309	171	6,97
6	1215,6	689,5	1217	527,5	6,8	2,304	179	7,59
7	1131,1	643,1	1132,5	489,4	6,22	2,311	176	8,15
8	1203	684,8	1205,2	520,4	6,59	2,312	170	7,43
9	1267,8	722,1	1269,3	547,2	7	2,317	177	7,29
10	1234,6	702,4	1235,7	533,3	6,68	2,315	177	7,64
11	1190,1	680,9	1192	511,1	6,61	2,329	172	7,50
12	1236,8	704,2	1238,1	533,9	6,79	2,317	175	7,43
13	1173,5	666,7	1175,2	508,5	6,36	2,308	172	7,79
14	1172,6	665,8	1174,1	508,3	6,34	2,307	175	7,95
15	1291	733,8	1292,7	558,9	6,96	2,310	178	7,37
Promedio:						2,314		7,59



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

**MUESTRA:** BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION

A 120°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 25°C

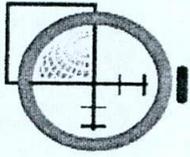
**PROCEDENCIA AGREGADOS:** EL BOQUERON

**NORMA:** AASHTO T-283

**FECHA:** 29/07/2005

**REALIZADO:** Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1222,1	693,1	1224,3	531,2	6,85	2,301	151	6,35
2	1078,2	612,3	1079	466,7	5,98	2,310	149	7,18
3	1222,7	693,3	1223,2	529,9	6,96	2,307	160	6,62
4	1101,3	625,3	1102,6	477,3	6,1	2,307	156	7,37
5	1137	645	1138,6	493,6	6,25	2,303	153	7,05
6	1187,4	672,4	1189,1	516,7	6,53	2,298	151	6,66
7	1130,8	644,1	1132,9	488,8	6,33	2,313	161	7,33
8	1035,4	589,7	1036,8	447,1	5,76	2,316	146	7,30
9	1170	665	1172	507	6,33	2,308	161	7,33
10	1152,9	656,8	1153,7	496,9	6,44	2,320	156	6,98
11	1142,7	649,4	1144,1	494,7	6,42	2,310	153	6,87
12	1219,9	693,1	1221,3	528,2	6,92	2,310	158	6,58
13	1099	626,6	1101,2	474,6	6,04	2,316	162	7,73
14	1248,1	710,4	1250,1	539,7	6,88	2,313	163	6,83
15	1188,6	676,1	1189,7	513,6	6,61	2,314	157	6,84
<b>Promedio:</b>						<b>2,310</b>		<b>7,00</b>



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION  
A 135°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 5°C

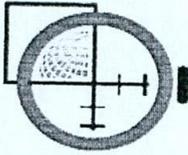
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 29/07/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta N°	Peso aire (gr)	Peso agua (gr)	Peso sss (gr)	Volumen (cm3)	Altura (cm)	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1035,8	590,4	1036,2	445,8	6,2	2,323	565	26,26
2	1172,8	668,8	1174	505,2	6,44	2,321	575	25,73
3	1107	630,1	1108,5	478,4	6,25	2,314	515	23,74
4	1165,6	662,8	1166,9	504,1	6,45	2,312	520	23,23
5	1262,6	720,5	1264,7	544,2	6,98	2,320	580	23,94
6	1184,4	675,5	1185,8	510,3	6,52	2,321	560	24,75
7	1234	705,4	1236,3	530,9	6,73	2,324	590	25,26
8	1106,8	631,8	1108,6	476,8	6,11	2,321	520	24,52
9	1169,2	666,2	1171,1	504,9	6,47	2,316	530	23,60
10	1133,5	646,7	1134,8	488,1	6,28	2,322	543	24,92
11	1181,1	669,1	1182,3	513,2	6,43	2,301	582	26,08
12	1079	613,6	1080,1	466,5	5,96	2,313	540	26,11
13	1221,6	695,5	1223	527,5	6,73	2,316	575	24,62
14	1101,4	628,5	1103	474,5	5,96	2,321	545	26,35
15	1116,6	632,2	1117,9	485,7	6,03	2,299	585	27,96
Promedio:						<b>2,316</b>		<b>25,14</b>



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: BRIQUETAS CON 75 GOLPES DE COMPACTACION  
A 120°C DE TEMPERATURA EN HUMEDO A 5°C

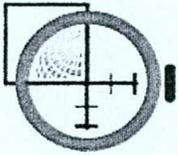
PROCEDENCIA AGREGADOS: EL BOQUERON

NORMA: AASHTO T-283

FECHA: 03/08/2005

REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Briqueta Nº	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	1143,5	650,2	1146,1	495,9	6,75	2,306	520	22,20
2	1164,2	661,8	1165,2	503,4	6,5	2,313	510	22,61
3	1169	664,3	1170,2	505,9	6,43	2,311	536	24,02
4	1119,5	636,1	1120,8	484,7	6,17	2,310	520	24,29
5	1219,9	692,9	1222,2	529,3	6,75	2,305	515	21,99
6	1144,4	650,6	1146,1	495,5	6,38	2,310	530	23,94
7	1132,5	643,4	1134,3	490,9	6,3	2,307	490	22,41
8	1249,8	708,6	1250,5	541,9	6,9	2,306	525	21,93
9	1195,9	677,5	1197,5	520	6,6	2,300	510	22,27
10	1124,6	637,5	1126,4	488,9	6,23	2,300	535	24,75
11	1174,3	666,6	1176,1	509,5	6,37	2,305	560	25,33
12	1260,6	715,7	1262,2	546,5	7,04	2,307	534	21,86
13	1181,1	669,1	1182,3	513,2	6,43	2,301	542	24,29
14	1236,7	700,8	1237,8	537	6,88	2,303	545	22,83
15	1154,3	655,3	1155,7	500,4	6,39	2,307	535	24,13
Promedio:						2,306		23,25



# UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

MUESTRA: NUCLEOS EXTRAIDOS DE OBRA  
 ENSAYADOS EN HUMEDO A 5°C  
 PROCEDENCIA : VIA OÑA-LOJA TRAMO III

NORMA: AASHTO T-283  
 FECHA: 11/08/2005  
 REALIZADO: Carlos Peralta y Milton Quituzaca

Nucleo Nº	Abscisa	Peso aire	Peso agua	Peso sss	Volumen cm3	Altura cm	Densidad Bulk	Lectura Dial	R.T.I Kg/cm2
1	70+000	906,6	511,55	907,7	396	5,51	2,289	352	19,69,
2	71+000	960,3	535,26	961,1	426	6,18	2,255	372	18,55,
3	72+000	949,9	545,9	950,7	405	5,84	2,347	380	20,05,
4	73+000	978,5	548,42	979,5	431	6,28	2,270	378	18,55,
5	74+000	995,2	560,3	996	436	6,38	2,284	490	23,67,
6	75+000	930	527,1	930,7	404	5,5	2,304	375	21,01,
7	76+000	1014,9	583,6	1015,3	432	6,41	2,351	390	18,75,
8	77+000	980,5	546,51	981,5	435	5,6	2,254	372	20,47,
9	78+000	989,3	554,8	989,8	435	5,09	2,274	374	22,64,
10	79+000	880,4	497,42	880,7	383	5,04	2,297	275	16,82,
11	80+000	793,2	451,68	793,2	342	5,39	2,323	337	19,27,
12	81+000	852	484,71	852,8	368	5,48	2,315	356	20,02,
13	82+000	899,5	515,92	900	384	5,63	2,342	332	18,17,
14	83+000	979,8	558,44	980,2	422	6,24	2,323	448	22,13,
15	84+000	938,4	527,07	939,1	412	6,15	2,278	263	13,18,
16	85+000	1333	762,4	1333,9	572	8,32	2,332	620	22,97,
17	86+000	1199,3	692,5	1200,1	508	7,38	2,363	506	21,13,
18	87+000	1240,4	699,9	1241,1	541	7,87	2,292	503	19,70,
19	88+000	1301,6	752,8	1302	549	8,07	2,370	558	21,31,
20	89+400	1235,8	712,8	1235,8	523	7,91	2,363	620	24,16,
21	90+200	753,5	427,5	753,8	326	7,69	2,309	285	11,42,
22	91+000	1225	692,2	1229,6	537	8,01	2,279	220	8,46,
23	92+000	1234	705,5	1234,5	529	7,69	2,333	562	22,52,
24	93+000	1257,8	730,7	1257,9	527	7,75	2,386	450	17,89,
25	94+000	845,2	473,8	845,7	372	5,43	2,273	325	18,45,
26	95+000	747	421,9	747,5	326	4,81	2,294	320	20,50,
27	96+000	932,3	524,3	932,7	408	5,94	2,283	405	21,01,
28	97+000	1115,4	625,3	1116,5	491	7,16	2,271	430	18,51,
29	98+000	855,9	482,8	856,3	374	5,87	2,292	382	20,06,
30	99+000	929,1	529,1	930	401	5,35	2,318	355	20,45,
31	100+000	863,2	481,5	864,2	383	5,67	2,256	310	16,85,
32	101+500	636,7	361,2	637,2	276	4,1	2,307	360	27,06,
33	102+500	796,8	445	798,1	353	5,05	2,257	301	18,37,
34	103+500	1118,7	630,9	1119,5	489	7,24	2,290	500	21,3,
Promedio:							1,152		19,56

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACION DEL VALOR DE ABRASION DEL ARIDO GRUESO DE**

Muestra: Material de Carpeta Asfáltica (3/4")	Norma: INEN 860
Procedencia: Río Boquerón	Fecha: 26-Abr-05
Abscisa :	Realizado: Carlos Peralta
Solicitante:	Milton Quituzaca

**GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO SEPARADA POR TAMIZADO**

Tamices en mm		Masa de la muestra de ensayo en gramos G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25				
25	19				
19	12,5				
12,5	9,5				
9,5	6,7			2500,18	
6,7	4,75			2500,11	
4,75	2,36				
Total				5000,29	

Número de esferas: 8	Masa de la carga abrasiva: 3315
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo A:	5000,29 gramos
Masa de la muestra después de 500 revoluciones: B	3942,10 gramos
Valor de abrasión después de 500 revoluciones: V	<b>21,16 %</b>

Valor de Abrasión en Porcentaje	$V = \frac{A - B}{A} \times 100$	Requisito de Desgaste a la Abrasión	Máximo
		Porcentaje 40 %	

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACION DEL VALOR DE ABRASION DEL ARIDO GRUESO DE**

Muestra:	Material de Carpeta Asfáltica (3/4")	Norma:	INEN 860
Procedencia:	Río Boquerón	Fecha:	26-Abr-05
Abscisa :		Realizado:	Carlos Peralta
Solicitante:			Milton Quituzaca

**GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO SEPARADA POR TAMIZADO**

Tamices en mm		Masa de la muestra de ensayo en gramos G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25				
25	19				
19	12,5				
12,5	9,5				
9,5	6,7			2500,3	
6,7	4,75			2500,1	
4,75	2,36				
T o t a l				5000,4	

Número de esferas:	8	Masa de la carga abrasiva:	3315
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo A:	5000,40 gramos		
Masa de la muestra después de 500 revoluciones: B	3948,10 gramos		
Valor de abrasión después de 500 revoluciones: V	<b>21,04 %</b>		

Valor de Abrasión en Porcentaje	$V = \frac{A - B}{A} \times 100$	Requisito de Desgaste a la Abrasión Máximo Porcentaje 40 %
---------------------------------------	----------------------------------	---

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACION DEL VALOR DE ABRASION DEL ARIDO GRUESO DE**

Muestra: Material de Carpeta Asfáltica (3/4")	Norma: INEN 860
Procedencia: Río Boquerón	Fecha: 26-Abr-05
Abscisa :	Realizado: Carlos Peralta
Solicitante:	Milton Quituzaca

**GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO SEPARADA POR TAMIZADO**

Tamices en mm		Masa de la muestra de ensayo en gramos G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25				
25	19				
19	12,5				
12,5	9,5				
9,5	6,7			2500,18	
6,7	4,75			2500,11	
4,75	2,36				
Total		5000,29			

Número de esferas: 8	Masa de la carga abrasiva: 3315
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo A:	5000,29 gramos
Masa de la muestra después de 500 revoluciones: B	3942,10 gramos
Valor de abrasión después de 500 revoluciones: V	<b>21,16 %</b>

Valor de Abrasión en Porcentaje	$V = \frac{A - B}{A} \times 100$	Requisito de Desgaste a la Abrasión	Máximo
		Porcentaje 40 %	

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA  
UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA

**ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA**

**Muestra :** Arena de río  
**Procedencia:** Arena de Río  
**Sitio:** El Boquerón (Catamayo)

**Norma:** AASHTO T-176  
**Fecha:** 21/06/2005  
**Realizó:** Milton Quituzaca  
Carlos Peralta

Peso muestra de ensayo: 110 gr

No. Ensayo	Lectura L1 (Pulg.)	Lectura L2 (pulg.)	Ea = $L2/L1*100$
1	3,55	3,1	87
2	3,65	3,2	88
<b>Promedio=</b>			<b>88</b>

L1 = Lectura de la altura de partículas en suspensión  
L2 = Lectura de la altura de las partículas sedimentadas

Equivalente de arena para mezclas asafálticas en caliente:  
Mayor a 45 según Normas MOP -2002

Rango de variación entre dos ensayos:  
Máximo 5 según AASHTO T-176

Observaciones:  
El Agregado y el ensayo cumplen con los requerimientos

# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Memento Ascendere Semper

## UNIDAD DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMINERA.

### DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN DE LOS ÁRIDOS

PROYECTO: TESIS NORMA: AASTHO T-104  
 MUESTRA: Agregado grueso Triturado y arena de rio FECHA: 20-06-05  
 PROCEDENCIA: El Boqueron REALIZADO: Carlos P.  
Milton Q.

RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN						
Solución utilizada: Sulfato de sodio						
TAMIZ INEN	Gradación de la muestra original (Pi)	(%)	Masa de las fracciones antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el respectivo tamiz después del ensayo (pi)	Porcentaje de pérdida compensado. pi x Pi/100
<b>ÁRIDO GRUESO</b>						
90 mm a 63 mm						
63 mm a 50 mm	0,00	0	0,00	0,00	0,0	0,0
50 mm a 37.5 mm	0,00	0	0,00	0,00	0,0	0,0
37.5 mm a 25 mm	0,00	0	0,00	0,00	0,0	0,0
25 mm a 19 mm	668,00	56	998,70	953,34	4,5	2,5
19 mm a 12.5 mm	330,70	44	302,16	260,65	13,7	6,0
12.5 mm a 9.5 mm	302,16	100				8,6
9.5 mm a 4.75 mm						
<b>TOTAL</b>						
<b>ÁRIDO FINO</b>						
9.5 mm a 4.75 mm	6,0	100,10	71,89	28,2	1,69	
4.75 mm a 2.36 mm	15,0	100,10	79,75	20,3	3,05	
2.36 mm a 1.18 mm	25,0	100,07	86,86	13,2	3,30	
1.18 mm a 0,600 mm	25,0	100,10	93,33	6,8	1,69	
0,600 mm a 0,300 mm	29,0	100,11	93,87	6,2	1,81	
<b>TOTAL</b>	100,0					11,54

Requisito de desgaste a los sulfatos: Máximo porcentaje 12%.

El material analizado SI cumple con el requisito de desgaste a los sulfatos.

OBSERVACIONES: .....

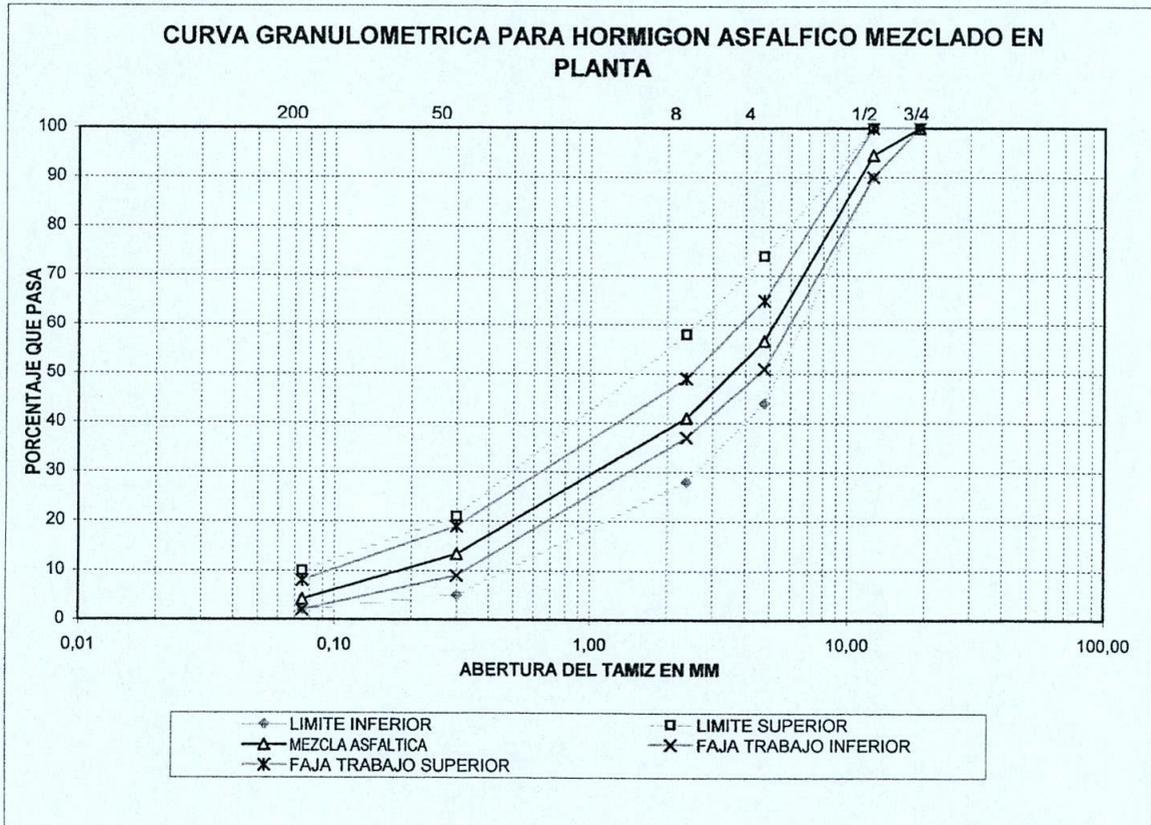
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA**

**PROYECTO:** ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA  
**OBRA:** DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

**NORMA:** AASHTO T27 : ASTM C136  
**FECHA:** 30-Jun-05  
**REALIZADO:** Carlos Peralta  
 Milton Quituzaca

Tamiz mm	Peso Acumulado	Porcentaje parcial	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	ESPECIFICACION	
					Inferior	Superior
19.0 mm	0,00	0	0	100	100	100
12.7 mm	741,20	6	6	94	90	100
4.75 mm	5806,80	38	43	57	44	74
N 8(2.38 mm)	224,43	16	59	41	28	58
N°50(0.300 mm)	616,70	28	87	13	5	21
N°200(0.075 mm)	747,26	9	96	4	2	10
Pasa # 200	806,90	4	100	0		
Total	13430,70	100				



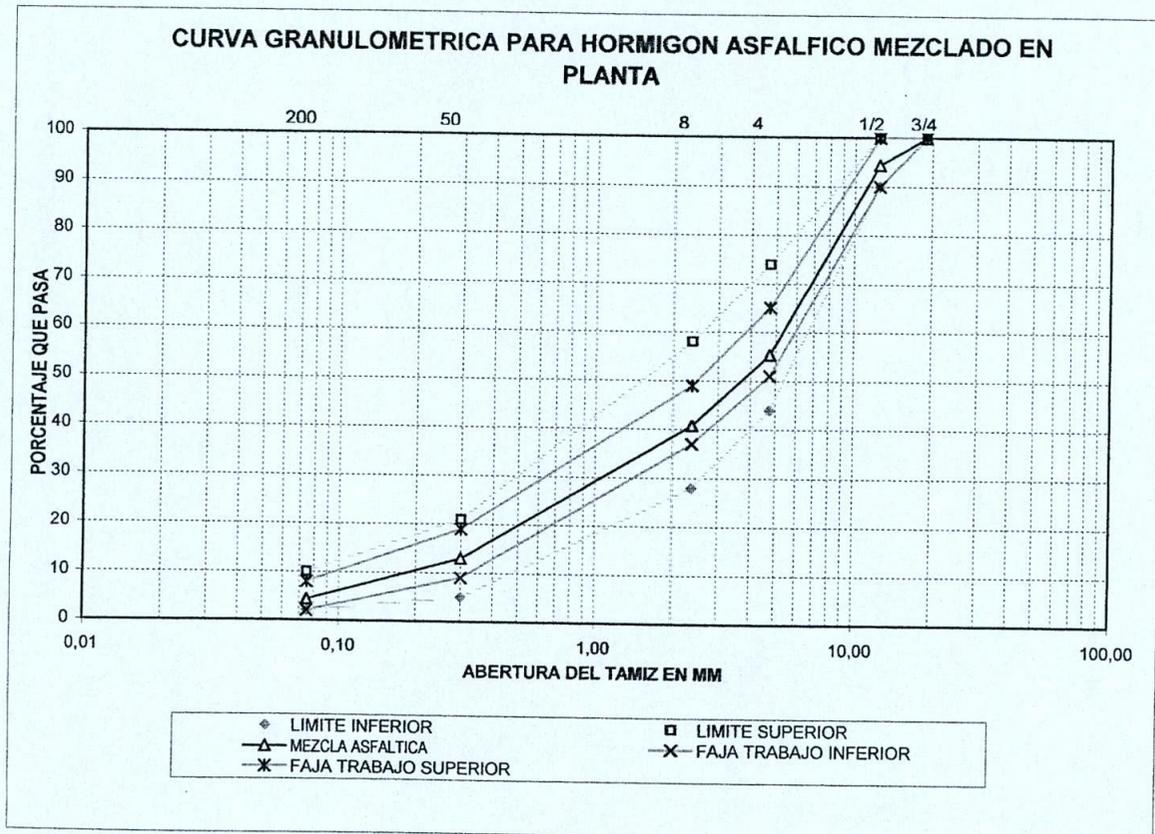
**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEO MINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA**

PROYECTO: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA  
 OBRA: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

NORMA: AASHTO T27 : ASTM C136  
 FECHA: 30-Jun-05  
 REALIZADO: Carlos Peralta  
 Milton Quituzaca

Tamiz mm	Peso Acumulado	Porcentaje parcial	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	ESPECIFICACION	
					Inferior	Superior
19.0 mm	0,00	0	0	100	100	100
12.7 mm	650,10	6	6	94	90	100
4.75 mm	5201,43	39	45	55	44	74
N 8(2.38 mm)	265,93	15	59	41	28	58
N°50(0.300 mm)	772,96	28	87	13	5	21
N°200(0.075 mm)	930,39	9	96	4	2	10
Pasa # 200	1010,00	4	100	0		
Total	11647,00	100				



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO FINO**

<b>Muestra:</b> Arena	<b>Norma:</b> INEN 856
<b>Yacimiento:</b> Río Cartamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo (sss) en gr.			
Masa del matraz más agua en gramos: B			
Masa del matraz más agua más muestra: C			
Masa de la muestra seca al horno en gr. A			
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc			
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc			
Porcentaje de absorción Pa en %			
Valor promedio	D <sub>sss</sub> = 0,000	D <sub>s</sub> = 0,000	Pa = 0,000

$$D_{sss} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad D_s = \frac{A}{B + 500 - C} \quad P_a = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO GRUESO**

<b>Muestra:</b> Árido Grueso Triturado 5/8	<b>Norma:</b> INEN 857
<b>Yacimiento:</b> Río Catamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra en el aire estado sss: B	3000,00	3000,00	3000,00
Masa de la muestra sumergida en agua: C	1859,00	1850,00	1855,00
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	2963,00	2963,65	2964,00
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2,629	2,609	2,620
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2,597	2,577	2,589
Porcentaje de absorción Pa en %	1,249	1,227	1,215
Valor promedio	D <sub>sss</sub> = 2,622	D <sub>s</sub> = 2,584	Pa = 1,230

$$D_{sss} = \frac{B}{B - C} \quad D_s = \frac{A}{B - C} \quad P_a = \frac{(B - A) \times 100}{A}$$

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD CIVIL GEOMINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO FINO**

<b>Muestra:</b> Agregado fino 3/8 "	<b>Norma:</b> INEN 856
<b>Yacimiento:</b> Río Cartamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo (sss) en gr.	500,00	500,00	500,00
Masa del matraz más agua en gramos: B	1298,80	1299,10	1299,00
Masa del matraz más agua más muestra: C	1610,80	1609,80	1609,90
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	491,30	492,95	491,88
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2,660	2,641	2,644
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2,613	2,604	2,601
Porcentaje de absorción Pa en %	1,771	1,430	1,651
Val. promedi	D <sub>sss</sub> = 2,648	D <sub>s</sub> = 2,606	Pa = 1,617

$$D_{sss} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$D_s = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$Pa = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO GRUESO**

<b>Muestra:</b> Árido grueso triturado 3/8 "	<b>Norma:</b> INEN 857
<b>Yacimiento:</b> Río Catamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra en el aire estado sss: B	2217,30	2494,20	2385,00
Masa de la muestra sumergida en agua: C	1381,00	1551,00	1485,00
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	2185,19	2450,67	2349,00
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2,651	2,644	2,650
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2,613	2,598	2,610
Porcentaje de absorción Pa en %	1,469	1,776	1,533
Val. promedi	D <sub>sss</sub> = 2,649	D <sub>s</sub> = 2,603	Pa = 1,593

$$D_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

$$D_s = \frac{A}{B - C}$$

$$Pa = \frac{(B - A) \times 100}{A}$$

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
**UNIDAD DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMINERA**

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO FINO**

<b>Muestra:</b> Arena	<b>Norma:</b> INEN 856
<b>Yacimiento:</b> Río Cartamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra de ensayo (sss) en gr.	500,00	500,00	500,00
Masa del matraz más agua en gramos: B	1299,10	1299,10	1298,90
Masa del matraz más agua más muestra: C	1606,70	1606,80	1606,20
Masa de la muestra seca al horno en gr. A	483,90	484,30	483,90
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc	2,599	2,600	2,595
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc	2,515	2,518	2,511
Porcentaje de absorción Pa en %	3,327	3,242	3,327
Valor promedio	D <sub>sss</sub> = 2,598	D <sub>s</sub> = 2,515	Pa = 3,299

$$D_{sss} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad D_s = \frac{A}{B + 500 - C} \quad P_a = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDO GRUESO**

<b>Muestra:</b> Árido Grueso Triturado	<b>Norma:</b> INEN 857
<b>Yacimiento:</b> Río Catamayo	<b>Realizado:</b> Carlos Peralta
<b>Sector:</b> El Boquerón	Milton Quituzaca
	<b>Fecha:</b> 29-Abr-05

Ensayo número	1	2	3
Masa de la muestra en el aire estado sss: B			
Masa de la muestra sumergida en agua: C			
Masa de la muestra seca al horno en gr. A			
Densidad real (estado sss) D <sub>sss</sub> en gr/cc			
Densidad seca (estado seco) D <sub>s</sub> en gr/cc			
Porcentaje de absorción Pa en %			
Valor promedio	D <sub>sss</sub> = 0,000	D <sub>s</sub> = 0,000	Pa = 0,000

$$D_{sss} = \frac{B}{B - C} \quad D_s = \frac{A}{B - C} \quad P_a = \frac{(B - A) \times 100}{A}$$

## BIBLIOGRAFIA

1. "Curso de Diseño de Pavimentos", Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa María.
2. "Asfalto, Curso Laboratorista Vial", Volumen II, laboratorio Nacional de Vialidad, cuarta edición, Junio 1997.
3. Miró R., Control sobre el Producto y el coste de la falta de calidad en la ejecución de mezclas asfálticas, Infraestructura Vial Volumen 4, Nº 1, 2002.
4. "Especificaciones y Métodos de muestreo y Ensayo de la Dirección de Vialidad", Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2ª Edición, Marzo 1999.
5. Normas Españolas NL T 346/90. Resistencia a Compresión Diametral (ensayo Brasileño) de Mezclas bituminosas.
6. Pérez F., Miró R., Martínez A., Empleo del ensayo de Tracción indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero-Panamericano del asfalto.869-877 Sevilla España 1999.
7. MOP (ministerio de obras públicas del Ecuador), dirección general de Carreteras, Recomendaciones sobre mezclas bituminosas en caliente, Circular Nº 299/89T, Madrid, España, 23 de febrero de 1989.
8. Especificaciones Técnicas generales. Manual de carretera. Volumen V. Junio1997. Ministerio de Obras Públicas.

## INTERNET

- [www.Riliac.com](http://www.Riliac.com): Red Ibero latinoamericana de Investigación en Carreteras.
- [www.cpasfalto.org/32reunio/32reunio.htm](http://www.cpasfalto.org/32reunio/32reunio.htm)
- [www.aacarreteras.org.ar/académicas/cartel\\_asfalto.html](http://www.aacarreteras.org.ar/académicas/cartel_asfalto.html)

<http://entrieros.gov.ar/icytier/lab/enc131.htm>

<http://www.camineros.com/construccion.htm>

<http://concretonline.com/pdf/iicasfaltos1.pdf>

[www.aepo.es](http://www.aepo.es)

## INDICE

Certificación .....	ii
Cesión de Derechos .....	iii
Autoría .....	iv
Agradecimiento .....	v
Dedicatoria .....	vi
Introducción .....	vii

### CAPITULO I MEZCLAS ASFALTICAS

Mezclas Asfálticas	1
El Asfalto y su Comportamiento.	2
Cemento Asfáltico.	7
Ensayos para los Cementos Asfálticos	9
Determinación del Punto de Ablandamiento	9
Determinación de la Penetración	10
Ensayo de Solubilidad	11
Ensayo de la Mancha	12
Determinación del Punto de Inflamación y Combustión mediante la Copa Abierta de Cleveland	13
Método de Ensayo de Ductilidad para Materiales Bituminosos	14
Ensayo de Película Delgada	15
Ensayo de Película Delgada Rotatoria	16
Ensayo de Viscosidad	17
Agregados Minerales	20
Granulometría	22
Ensayos para los Agregados Gruesos	23
Ensayo de Desgaste de los Pétreos mediante la Máquina de los Ángeles	23
Ensayo de desintegración por medio de Sulfato de Sodio.	26

Ensayo para la determinación de la Cubicidad de Partículas.	27
Ensayo de Adherencia de Agregado- Bitumen	29
Especificaciones para los Agregados Gruesos.	30
Ensayo para los Agregados Finos.	30
Ensayo para la Determinación del Índice de Plasticidad.	30
Ensayo de Desintegración por Sulfato de Sodio.	32
Especificaciones para los Agregados Finos.	33
Ensayo para Determinar la Composición Granulométrica del Filler.	34
Especificaciones para el Filler.	35
Ensayos sobre la Mezcla de Agregados Pétreos.	35
Propiedades de las Mezclas Asfálticas	39

## CAPITULO II MÉTODOS DE DISEÑO

MÉTODOS DE DISEÑO	44
Método de diseño Marshall	46
Cálculo de la densidad	47
Cálculo de la Estabilidad y Fluencia	49
Análisis de los huecos	49
Determinación del óptimo de asfalto	51
Requisitos de la Mezcla de diseño.	53

## CAPITULO III ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA

Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta	56
Generalidades.	56
Aplicación del ensayo de tracción indirecta a la caracterización de mezclas Bituminosas.	56
Aplicación del ensayo de tracción indirecta	62
Análisis de resultados de resistencias obtenidas.	66

#### CAPITULO IV

### CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA.

Procedimiento general.	68
Materiales.	69
Desarrollo de la investigación.	70
Confección de probetas.	70
Probetas con 97 % de la densidad Marshall	72
Toma de testigos en la vía Oña - Loja.	72
Ensayo de Tracción Indirecta	73
Resultados	74

#### CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	82
Recomendaciones	85
Bibliografía	87
Anexos	88

## RESUMEN

La evaluación de mezclas bituminosas mediante el Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta, cuyo estudio y aplicación ha sido el propósito de la siguiente investigación, basado en la experiencia de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona – España) por el Doctor Félix Pérez. Dicho método se basa en el Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta, a testigos extraídos de obra, el mismo que consiste en someter a compresión axial la probeta, aplicando una carga estática a una velocidad constante de deformación de 50,8 (mm/min) a una temperatura de 5 °C. Esto permite que la mezcla se comporte como un material rígido, y su resistencia máxima de rotura está relacionada con la compactación de la mezcla, con la dureza de los áridos y con el porcentaje y calidad del cemento asfáltico, todos estos factores determinan la calidad de la mezcla.

La determinación de la resistencia a la tracción indirecta en las mezclas bituminosas representa un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica.

En la presente investigación se ha empleado un cemento asfáltico 85/100 que se usa en nuestro país y agregados triturados procedentes de conglomerado del río El Boquerón, Cantón Catamayo, Provincia de Loja.

El presente trabajo investigativo se desarrolla en cinco capítulos. El capítulo I trata sobre mezclas asfálticas y ensayos necesarios para la evaluación de agregados y los requisitos que deben tener para el diseño de mezclas asfálticas. En el capítulo II se describe el método de diseño comúnmente utilizado para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla. En el capítulo III se desarrolla el ensayo de resistencia a tracción indirecta tanto a la caracterización como a la ejecución de mezclas asfálticas, variando la energía y la temperatura de compactación. En el capítulo IV, se analizan los resultados aplicando el ensayo de Tracción Indirecta a testigos extraídos en obra de la vía Oña - Loja de nuestra ciudad, comparándolos con probetas que reproducen las

características de obra (agregados de planta, cemento asfáltico 85/100) las cuales se confeccionaron en laboratorio. El capítulo V, se establecen conclusiones y recomendaciones en base a las experiencias obtenidas en el estudio realizado.