



# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

### **“ APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”**

Previa a la obtención del Título de

**INGENIERO CIVIL**

ELABORADO POR:

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

SANGOLQUÍ, Diciembre del 2006

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



# 1. ÍNDICE

1. ÍNDICE.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. ANTECEDENTES.....	6
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. OBJETIVOS GENERALES DEL PROYECTO.....	8
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
5. ALCANCE.....	8
6. EXPERIENCIAS EXTRANJERAS SOBRE EL TEMA.....	10
6.1. EXPERIENCIA ESPAÑOLA.....	12
6.2. EXPERIENCIA ARGENTINA.....	26
6.3. CONCLUSIONES DE LAS EXPERIENCIAS EXTRANJERAS.....	28
7. TRABAJOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO Y CAMPO.....	30
7.1. CALIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	31
7.1.1. CONTROL SOBRE LOS AGREGADOS.....	32
7.1.2. CONTROL SOBRE EL ASFALTO AP-3.....	34
7.2. PREPARACIÓN DE BRIQUETAS.....	38
7.2.1. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO COMPACTADOR DE ASFALTO.....	40
7.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA CONFECCIÓN DE BRIQUETAS.....	42
7.3. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN VÍA.....	44
7.3.1. UBICACIÓN DE PROYECTOS ANALIZADOS.....	44
7.3.2. MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS.....	45

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

**7.3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA**

---

EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS.....46

7.3.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD  
DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS..... 49

7.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL  
DE MEZCLAS BITUMINOSAS.....50

7.4.1. ALCANCE.....50

7.4.2. APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS.....51

7.4.3. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO.....52

7.4.4. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN  
INDIRECTA.....56

8. RESULTADOS OBTENIDOS.....60

8.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA  
EN BRIQUETAS.....60

8.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA  
EN NÚCLEOS.....63

8.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....69

8.4. DETERMINACIÓN DE TOLERANCIAS.....79

8.5. OTROS PROYECTOS ANALIZADOS .....81

8.6. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS PROYECTOS  
ESTUDIADOS.....90

9. CONCLUSIONES.....94

10. RECOMENDACIONES.....97

11. BIBLIOGRAFÍA.....99

ANEXOS.....101

ANEXO A: ENSAYOS Y RESULTADOS APLICADOS

A LOS ASFALTOS.....102

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....104

ENSAYO DE PENETRACIÓN DE

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



<b>CEMENTOS ASFÁLTICOS</b>	106
ENSAYOS DE DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS	109
ENSAYO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	113
ENSAYO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN	117
CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS AL ASFALTO	120
ANEXO B: EJEMPLO DE DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZADO POR LA COMPAÑÍA MENATLAS EMPLEANDO EL MÉTODO MARSHALL	121
ENSAYO DE ABRASIÓN	123
ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	127
ENSAYO PARA DETERMINAR PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	134
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS	139
MEZCLA DE LOS SUELOS O AGREGADOS	145
PREPARACIÓN DE BRIQUETAS	149
PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO MARSHALL	151
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (MÉTODO RICE)	155
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL	162

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**ANEXO C: DISEÑO DE CARPETA**

ASFÁLTICA DE CIA. TEA.....171

**ANEXO D: DISEÑO DE CARPETA .**

ASFÁLTICA DE CIA. HERDOIZA CRESPO.....180

**ANEXO E: NORMAS REFERENTES**

A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....190

NORMA ESPAÑOLA NLT-346/90

REFERENTE A LA RESISTENCIA A

COMPRESIÓN DIAMETRAL

(ENSAYO BRASILEÑO) DE MEZCLAS

BITUMINOSAS.....190

NORMA AASHTO T 283-89.....196

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

## **2. INTRODUCCIÓN.**

---

En nuestro país se ha vuelto un común denominador la mala calidad de mezclas asfálticas en pavimentos flexibles, las mismas que al poco tiempo de haber sido colocadas denotan un deterioro acelerado, provocando la destrucción de los mismos.

Esta realidad nacional ha causado enormes perjuicios al estado ecuatoriano, por el hecho de tener que realizar trabajos de rehabilitación tempranos para brindar un mejor servicio a los usuarios de las vías, o lo que es peor y sucede a menudo, que es el hecho de ignorar el problema.

En nuestro país no se ejecutan trabajos de mantenimiento vial de una manera adecuada, razón por la cual muchas de las vías se encuentran en muy mal estado, esta falta o carencia de administración vial, obliga a que por lo menos de inicio las mezclas asfálticas de pavimentos flexibles se encuentren dentro de parámetros que obliga la norma.

En vista de que en la actualidad los únicos controles que se ejecutan en la mezcla colocada, es decir en núcleos o testigos, (una vez ya tendido y compactado la carpeta asfáltica) son los de espesores y densidades, quedando sin control, parámetros mecánicos esenciales, debido a que en estas muestras no se puede realizar ensayos Marshall, por la afectación que sufren los agregados en el momento de corte y extracción del núcleo. La determinación de la resistencia a tracción indirecta en las mezclas bituminosas es un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

### **3. ANTECEDENTES**

---

La fiscalización de un proyecto vial en el Ecuador podrá aprobar una carpeta asfáltica siempre y cuando esta cumpla con las siguientes exigencias según lo estipulan las especificaciones MOP-001-F-2002 TOMO I literal 405-5.04.

El espesor de la capa terminada de hormigón asfáltico no deberá variar en más de 6 mm de lo especificado en los planos; sin embargo, el promedio de los espesores medios, en ningún caso será menor que el espesor establecido en el contrato.

Las cotas de la superficie terminada no deberán variar en más de un centímetro de las cotas establecidas en los planos. La pendiente transversal de la superficie deberá ser uniforme y lisa, y en ningún sitio tendrá una desviación mayor a 6 mm con el perfil establecido.

Concluida la compactación de la carpeta asfáltica, el fiscalizador deberá comprobar los espesores, la densidad de la mezcla y su composición, a intervalos de 500 a 800 metros lineales en sitios elegidos al azar, a los lados del eje del camino, mediante extracción de muestras.

De cumplirse con estas exigencias en nuestro país, la mezcla colocada es aceptada y aprobada. Sin embargo encontramos que se ha examinado tanto el procedimiento como los materiales empleados en su ejecución, pero no el producto final.

La inexperiencia o negligencia sobre procedimientos y requisitos a exigir en las capas ejecutadas, y la escasa disponibilidad de equipamientos en los laboratorios de obras que sólo permiten realizar ensayos muy sencillos, son entre algunas las causas para la falta de controles que permitan establecer criterios sobre el producto final.

En la práctica se realizan dos únicos controles sobre la capa producida, el primero consiste en determinar la compactación obtenida, analizando la gravedad específica del

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



testigo y comparándola con la densidad bulk alcanzada en probetas fabricadas en laboratorio.

La densidad de la mezcla es determinada a partir de testigos extraídos de la mezcla extendida y compactada, exigiéndose comúnmente compacidades superiores al 97 ó 98% de la de referencia. Este porcentaje se obtiene de dividir el valor de la gravedad específica del testigo tomado en vía para el valor de la densidad bulk de la briqueta confeccionada en laboratorio con material tomado del mismo tramo del que fue tomado el testigo.

El segundo control consiste en determinar el espesor de la muestra. Conociendo estos datos, se suele aceptar o rechazar una capa, aunque disponiendo de muy poca información sobre el comportamiento mecánico de la misma.

Si bien la experiencia ha demostrado que las mezclas correctamente fabricadas, extendidas y compactadas, se han comportado muy bien en la mayoría de las veces, también han existido casos donde se han presentado problemas y una mala respuesta del pavimento una vez en servicio.

Nuestra intención al realizar esta investigación es el conocer algo mas del producto final en la ejecución de un firme, mediante la implementación del ensayo de tracción indirecta, tanto en testigos como en briquetas de modo que las administraciones y empresas concesionarias tengan la certeza de la calidad conseguida.

Además de hacerlo de una forma práctica, al no ser un factor imperante la temperatura a la cual se ejecuta el ensayo, pues se establecerán curvas del comportamiento térmico de la mezcla al ser ensayada a tracción indirecta.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





---

## 4. OBJETIVOS

---

### 4.1. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

- Determinar la eficacia de la aplicación del ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas en caliente empleadas en la ejecución de carpetas asfálticas en el Ecuador, en vista de que no se conoce parámetros de comportamiento físico mecánico de la mezcla colocada

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Convalidar experiencias extranjeras similares en este campo con los resultados que se obtengan en el desarrollo del tema propuesto.
- Establecer parámetros de comportamiento térmico en diferentes carpetas asfálticas elaboradas con distintos materiales y procedimientos realizados en el país.

## 5. ALCANCE

Realizar ensayos de laboratorio y campo para verificar los objetivos planteados, basándonos en el análisis de carpetas asfálticas tendidas en distintos sectores de la ciudad de Quito, entre los cuales citamos:

- Pavimentación de la avenida Jorge Garcés, sector comité del pueblo, al norte del distrito metropolitano de Quito, a cargo de la compañía TEA.
- Pavimentación del corredor norte tramos III y IV (Estadio Casa Blanca - Intercambiador de Carcelén ubicado en la Av. Diego Vásquez de Cepeda), a cargo de la compañía Menatlas.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



- 
- Ampliación norte de la Av Simón Bolívar tramo I ( Intercambiador de Monte olivo – quebrada de Zámbriza), a cargo de la constructora Herdoiza Crespo, y

Con el propósito de establecer un parámetro de control y comprobación de curvas obtenidas en esta investigación a nivel nacional, acudimos a la información facilitada por el Ingeniero Milton Torres E., basados en varios proyectos a nivel nacional, los mismos que son los siguientes:

- Reconstrucción de la vía Portoviejo-Tosagua, tramo Portoviejo Mejía,
- Vía oña-Loja tramo III y
- Vía Pasaje San Francisco

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

## **6. EXPERIENCIAS EXTRANJERAS SOBRE EL TEMA**

---

Existen estudios internacionales importantes relacionados al tema que abordamos, y con el fin de que el lector se empape y adentre en el tema, ponemos a conocimientos las siguientes experiencias.

Tanto en Argentina como en España, el control de calidad de elaboración de una mezcla asfáltica en caliente se realiza sobre la composición de la mezcla y la determinación de los parámetros obtenidos según el procedimiento Marshall. Una vez colocada y compactada la mezcla, el control consiste en la extracción de testigos de los que se evalúa su densidad, comparándola con un valor de referencia obtenido mediante el ensayo Marshall. Con esta metodología no se consideran los parámetros mecánicos de la capa asfáltica una vez ejecutada.

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña se ha estudiado la posibilidad de implementación del ensayo de tracción indirecta en el control de ejecución de capas asfálticas, mediante un análisis de sensibilidad del ensayo y un estudio de correlación entre los valores obtenidos en laboratorio y en testigos extraídos de numerosas obras.

De las conclusiones obtenidas ha surgido un criterio de aceptación de la mezcla bituminosa que permite evaluar su calidad mecánica y no sólo su compacidad.

Desde hace aproximadamente un año, se está desarrollando un estudio en el Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial de la Universidad Nacional de La Plata en forma conjunta con el Área Vías de Comunicación de la Universidad Nacional del Comahue, con el objeto de evaluar la posible implementación de este método en Argentina.

Los ensayos mecánicos que se pueden realizar sobre testigos son similares a los que se hacen sobre probetas, sin embargo, por razones operativas y de eficacia, no todos se están empleando. En algunos casos, su uso se encuentra en fase experimental, en otros

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

ya se cuenta con cierta información como para establecer criterios de calidad a exigir en el producto.

En la Universidad Politécnica de Cataluña se ha desarrollado un proyecto de investigación basado en la aplicación del Ensayo de Tracción Indirecta a 5°C en testigos extraídos del pavimento, 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.

El ensayo de tracción indirecta consiste en deformar por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa, hasta causar la falla de la misma por fractura a lo largo del plano vertical, como se observa en la figura N° 1.

El valor obtenido es la resistencia máxima a rotura y es considerado como un indicador de la cohesión de la mezcla. En España este ensayo está normalizado según NLT-346/90.

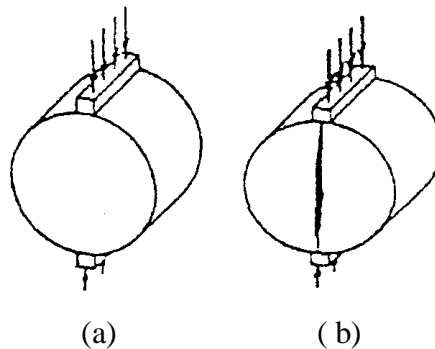


Figura N° 1: Determinación de la resistencia a tracción indirecta

(a) Configuración de carga (b) Rotura de la probeta

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



## 6.1. EXPERIENCIA ESPAÑOLA

En principio se verificó la sensibilidad del ensayo, que fue aplicado en mezclas del tipo denso, semidenso y grueso, elaboradas con un asfalto convencional, y de acuerdo a las pautas del pliego de Prescripciones Técnicas Generales español, y se estudió la variación de resistencia con respecto a variables de composición y elaboración de la mezcla

### SENSIBILIDAD DEL PROCEDIMIENTO

A la hora de adoptar un procedimiento de ensayo para el control de calidad de un producto es necesario conocer su sensibilidad: capacidad del proceso de medida para detectar las posibles alteraciones que sufre la mezcla en cuanto a su composición y elaboración, al variar sus resultados conforme a los cambios realizados. Con objeto de evaluar esta sensibilidad, se analizó en laboratorio el efecto que sobre la resistencia a tracción indirecta de la mezcla tienen los siguientes factores relativos a la composición y elaboración de la misma:

- Composición:
  - tipo y porcentaje de ligante,
  - naturaleza de los áridos y
  - granulometría de la mezcla.
- Elaboración:
  - temperatura de fabricación y
  - energía de compactación.

### EFFECTO DEL TIPO Y CONTENIDO DE BETÚN

El análisis del efecto del tipo y del contenido de ligante se ha llevado a cabo sobre mezclas tipo S-12, fabricadas con árido calizo, cuyas granulometrías se ajustan al centro de la faja de tolerancia.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

Los resultados de estos ensayos, Figuras 2 y 3, muestran que la resistencia de tracción indirecta varía tanto con el contenido como con el tipo de ligante. Las resistencias más altas se obtienen como es lógico con los betunes de penetración más baja, y disminuyen de forma muy suave con la penetración del betún. Se observa que la diferencia de resistencia entre las mezclas fabricadas con los betunes B-40/50 y B-80/100 son muy pequeñas para el 4,5 % de ligante.

Estas diferencias podrían aumentar o hacerse todavía más pequeñas, dependiendo de la susceptibilidad e índice de penetración de los betunes empleados. En la parte superior del gráfico se indica la densidad obtenida para cada mezcla, que se incrementa ligeramente con la penetración del ligante.

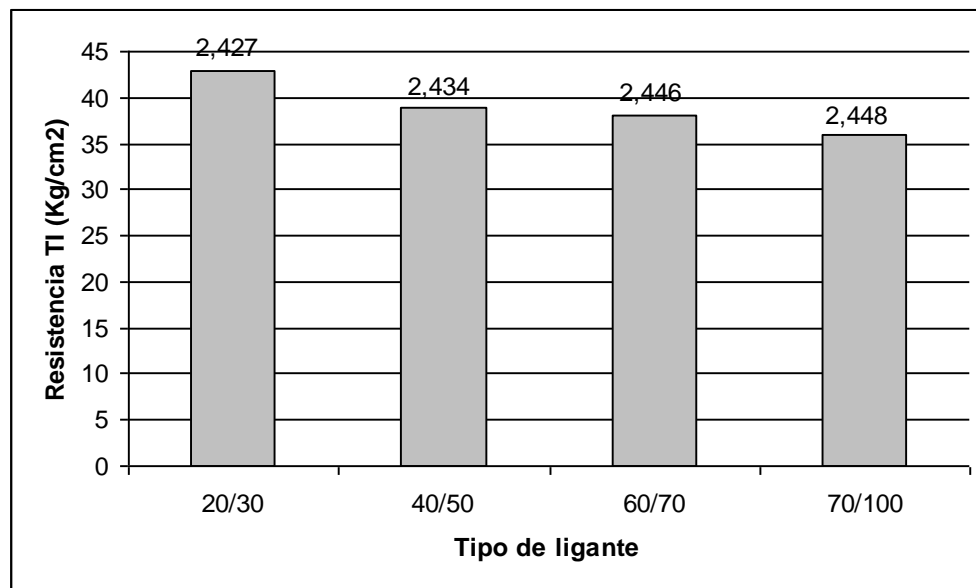


Figura 2. Efecto del tipo de betún en la resistencia a la Tracción Indirecta (Mezcla S-12)

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

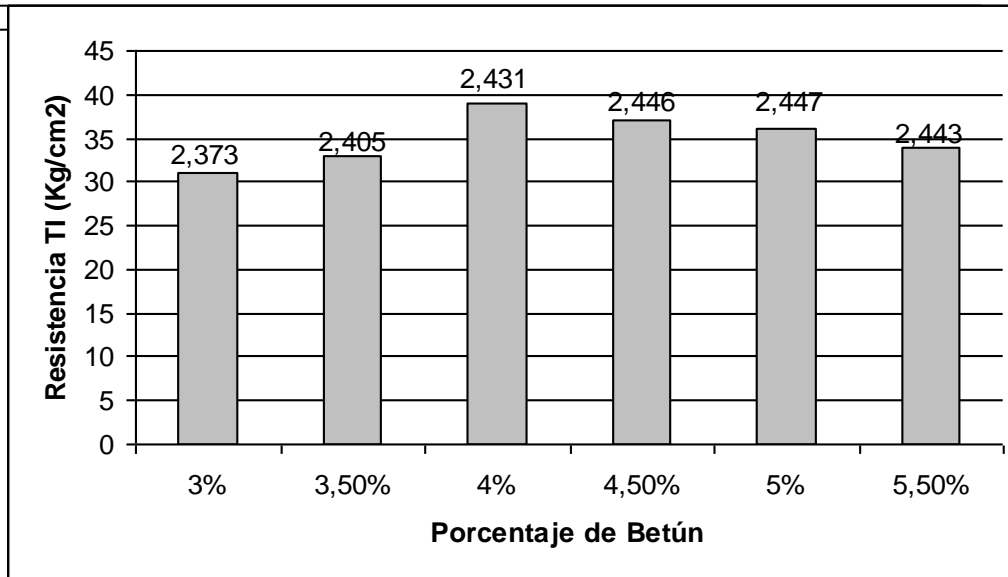


Figura 3. Efecto del contenido de betún en la resistencia a la Tracción Indirecta (Mezcla S-12)

Mayores diferencias se obtienen para los contenidos bajos de ligante al variar el contenido del mismo. Emplear un 3,5% de betún B-60/70 en vez del 4% supone reducir en 5,6 Kg/cm<sup>2</sup> la resistencia, mientras que para el 4,0 y 4,5% se obtienen valores muy similares. La relación, resistencia a tracción-contenido de ligante, tiene un máximo en el 4% de ligante, con una pendiente más fuerte para los contenidos inferiores.

Es muy importante señalar que de los dos parámetros utilizados en la caracterización de la mezcla, densidad y resistencia, este último resulta mucho más sensible a la variación de contenido de ligante. Disminuir en un 1% el contenido de betún partiendo del 4,5% de ligante, supone reducir en un 12,3% su resistencia y en un 1,7% su densidad.

Es decir, si reducimos el porcentaje de betún en una mezcla podríamos detectarlo en caso de determinar su resistencia, pero difícilmente lo detectamos si sólo controlamos su densidad.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

**EFFECTO DEL TIPO DE GRANULOMETRÍA Y DEL TAMAÑO MÁXIMO**

Con vistas a una posible normalización de este ensayo referido al control de la calidad de los aglomerados asfálticos, se ha determinado para los diferentes tipos de mezclas recogidos en el Pliego de Prescripciones Generales del Ministerio de Fomento: densas, semidensas y gruesas, su resistencia. Las mezclas ensayadas han sido fabricadas con áridos calizos, con granulometrías ajustadas al centro del huso y con un porcentaje de betún B-60/70 sobre árido del 4,5%. El tamaño máximo de los áridos empleados con las mezclas ha sido de: 8, 12 y 20 mm con las densas; 12, 20 y 25 mm con las semidensas y con los gruesos: 20 y 25 mm.

Los resultados de estos ensayos, recogidos en la Figura 4, muestran el efecto del tipo de mezcla sobre la resistencia observándose que las máximas resistencias se obtienen con las mezclas tipo D, y dentro de estas con la mezcla tipo D-8, que es la que presenta un mayor contenido de árido fino. Es decir, que son la compacidad, el contenido de mortero y el contenido de mástico asfáltico, las variables que mayor efecto tienen sobre la resistencia a tracción de las mezclas ensayadas.

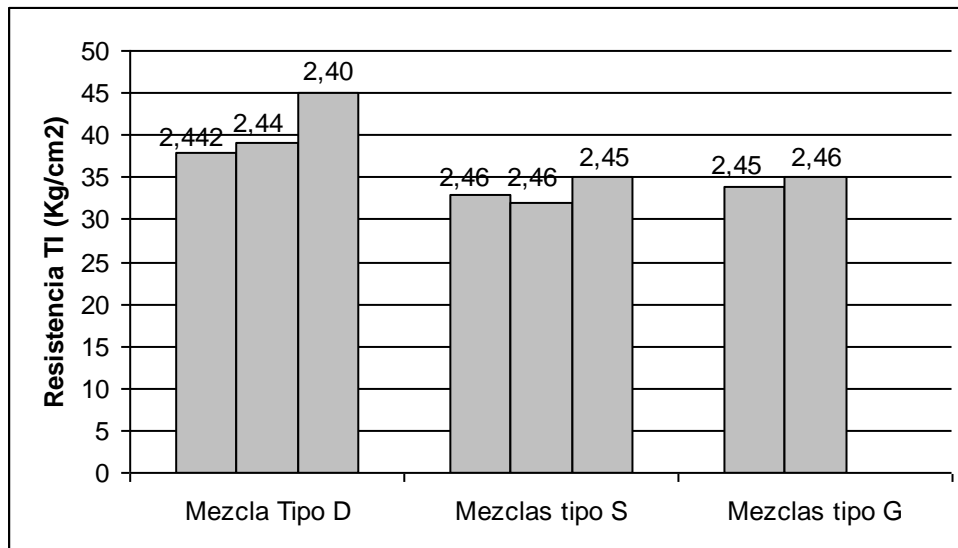


Figura 4. Efecto del tipo de mezcla en la resistencia a la Tracción Indirecta

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Este efecto del mortero y mástico para aumentar la resistencia de la mezcla puede también apreciarse en los resultados obtenidos al ensayar dos mezclas tipo S-20, Figura 5, una con la granulometría ajustada al centro de la faja y la otra a su parte inferior.

Ambas han sido fabricadas con un 4,5% de betún B-60/70 y aunque sus densidades y porcentajes de huecos son similares, la mezcla con mayor porcentaje de arena presenta una resistencia mayor.

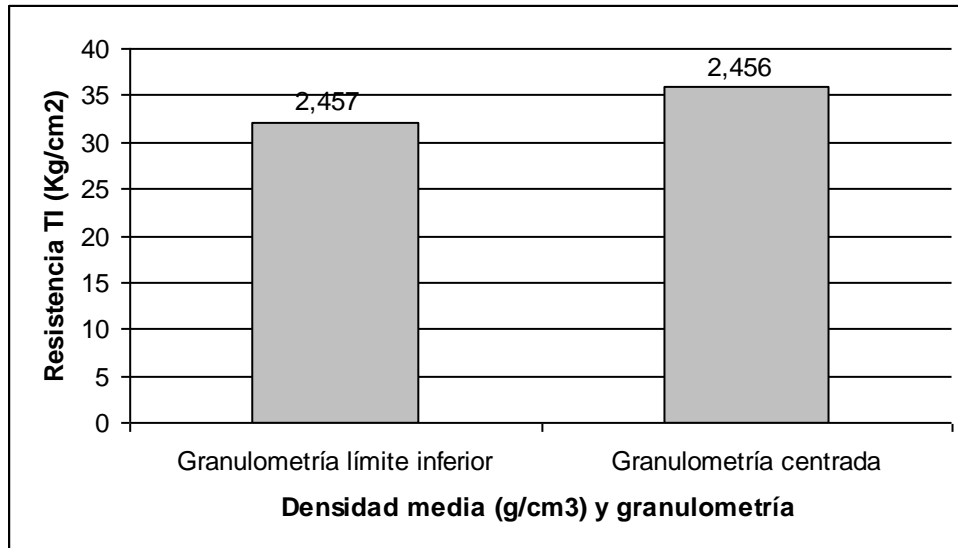


Figura 5. Efecto de la granulometría en la resistencia a la Tracción Indirecta (Mezcla S-20)

## EFFECTO DE LA NATURALEZA Y DE LA CALIDAD DE LOS ÁRIDOS

El efecto de la naturaleza del árido se ha estudiado ensayando en seco y tras un día de inmersión en agua a 60°C cuatro mezclas tipos D-12, fabricadas todas ellas con el 4,5% de betún B-60/70 y árido fino calizo, con las siguientes diferencias en cuanto al árido grueso y al filler empleado:

- Mezcla 1 - Árido grueso calizo y filler calizo
- Mezcla 2 - Árido calizo y filler plástico
- Mezcla 3 - Árido granítico alterado y filler calizo
- Mezcla 4 - Árido granítico alterado y filler plástico

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

La realización de los ensayos en seco apenas muestran diferencias entre las cuatro mezclas ensayadas, Figura 6. La menor resistencia corresponde a las mezclas fabricadas con árido blando y fíller arcilloso, pero esta menor resistencia puede ser también debida a la menor compactación alcanzada en la compactación de esta mezcla.

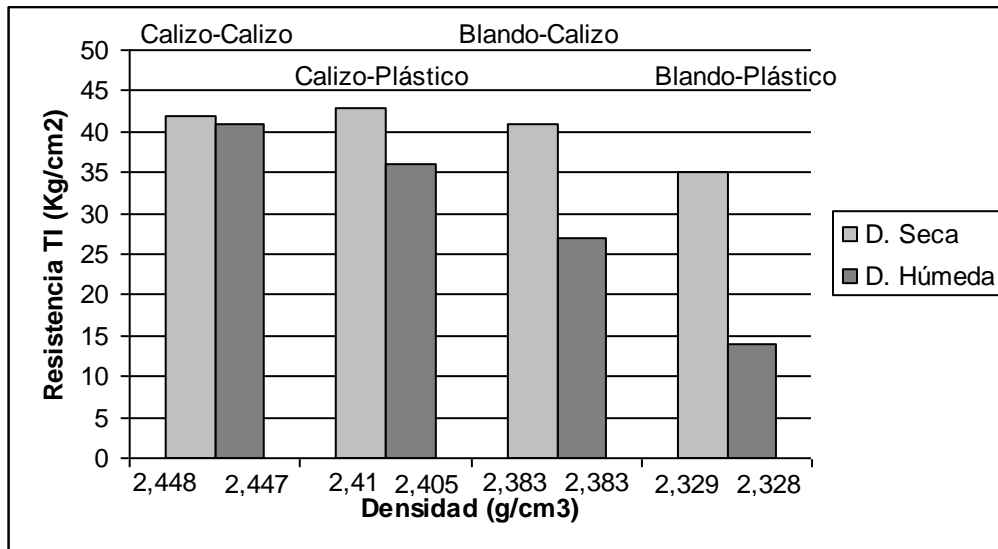


Figura 6. Efecto de la inmersión, del tipo de árido y fíller (mezcla D-12)

Es en húmedo cuando se ponen de manifiesto las diferencias, especialmente del efecto que tiene tanto el árido granítico como el fíller plástico para disminuir la adhesividad de la mezcla. Es más importante el efecto del árido blando granítico que el del fíller plástico, pero, cuando se unen sus acciones, la resistencia de la mezcla disminuye considerablemente, 14,2 Kg/cm<sup>2</sup> frente a los 41,6 de la mezcla con árido y fíller calizo.

### EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y DE LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

El efecto de las condiciones de ejecución de la mezcla, temperatura y energía de compactación, se ha estudiado en dos mezclas tipo semidenso de diferente tamaño máximo: S-20 y S-12, que se han fabricado y compactado variando la temperatura de compactación: 120°C y 150 °C, y la energía de compactación Marshall: 25, 50 y 75 golpes por cara. Las dos mezclas han sido fabricadas con árido calizo, y con un 4,5% de betún B-60/70, habiendo sido ajustada su composición granulométrica al centro de sus respectivas fajas.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

En la Figura 7 se ha representado para ambas mezclas la variación de su compactación y resistencia, en porcentaje, respecto a la obtenida en las condiciones patrón de compactación (150 °C y 75 golpes) y puede apreciarse que la temperatura de compactación de la mezcla no sólo favorece su compactación, sino que mejora la cohesión.

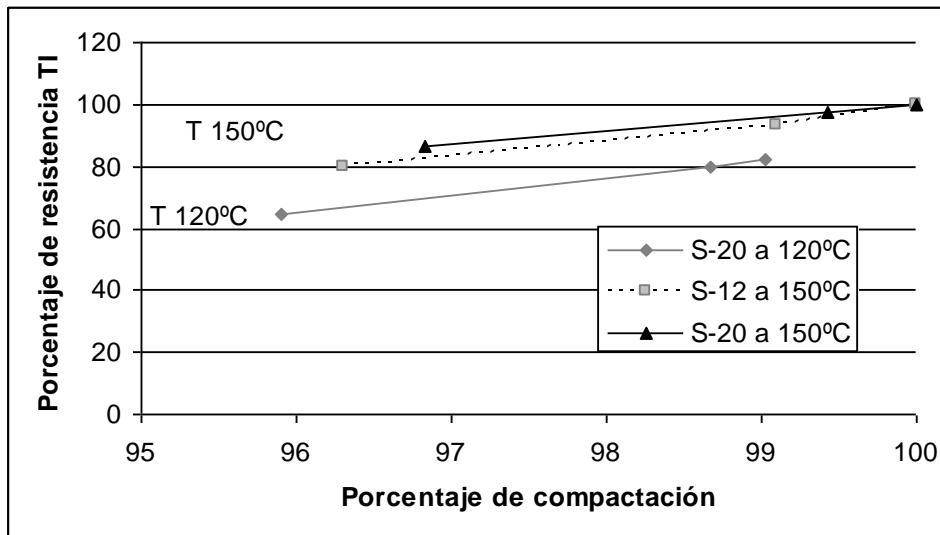


Figura 7. Variación del porcentaje de resistencia en función del porcentaje de compactación (Mezclas S-20 y S-12)

Es posible obtener la misma compactación con menos temperatura, pero en la figura se observa que la mezcla compactada a 150°C presenta una resistencia del orden de un 15% superior ( $6-7 \text{ Kg/cm}^2$ ) que la compactada a 120°C.

Estos resultados indican entonces que es posible llegar a los niveles de compactación normalmente exigidos en obra del 97- 98% compactando a bajas temperaturas, pero la resistencia de la mezcla se ha reducido notablemente y además esta reducción no queda evidenciada con los procedimientos actuales de control de calidad, basado únicamente en el control de la compactación.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

También se ha analizado en el laboratorio el posible efecto del espesor de la probeta sobre las densidades y resistencias obtenidas. Se han ensayado dos mezclas, tipo D-8 y D-12, fabricadas ambas con un 4,5 % de betún B-60/70, habiéndose observado que la variación de densidades y resistencias es mínima, y que incluso ambas aumentan al disminuir el espesor, Figura 8.

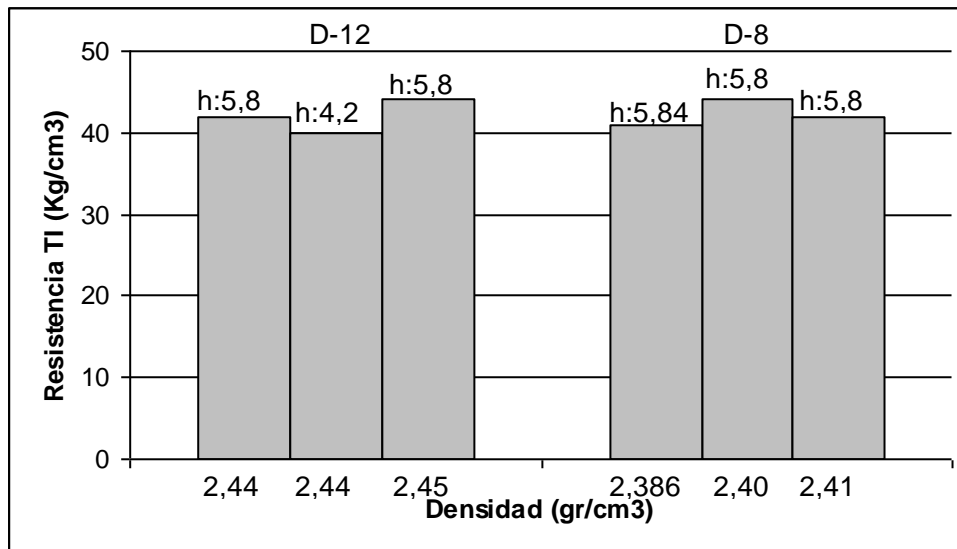


Figura 8. Variación de la altura de probetas y resistencia a Tracción Indirecta (Mezclas D-12 y D-8)

No ocurre lo mismo cuando la compactación de la mezcla se realiza con moldes que no están calientes, como se indica en la norma y procedimiento Marshall.

Cuando se emplean moldes que están a temperatura más fría, 5°C, se produce un descenso de la densidad y resistencia, Figura 9. Esto hace pensar que la falta de compactación que normalmente se observa en capas de pequeño espesor puede ser debido al rápido enfriamiento de la mezcla, dada su menor capacidad para contrarrestar la menor temperatura del pavimento.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

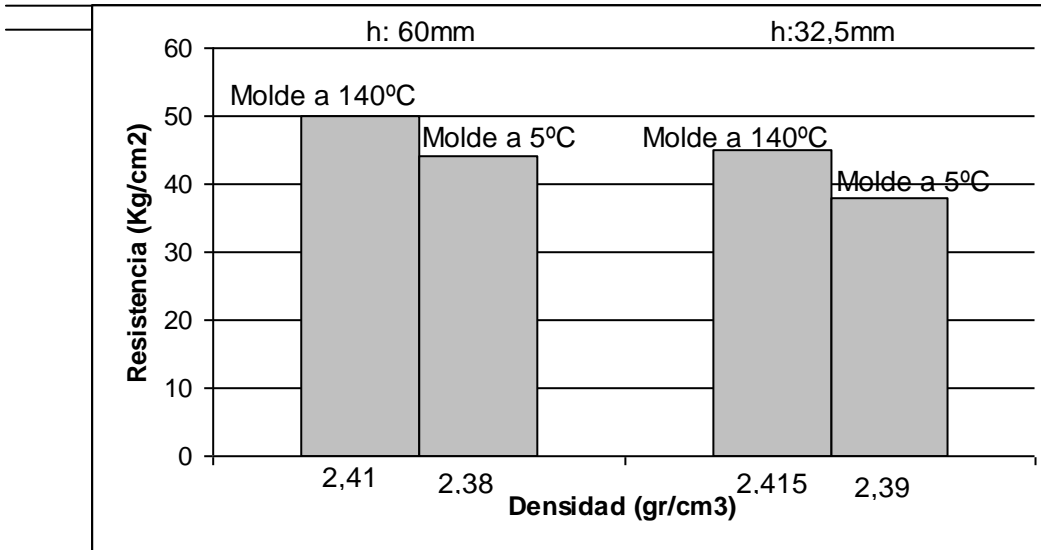


Figura 9. Variación de la resistencia a la Tracción Indirecta con la temperatura del molde (Mezcla D-8)

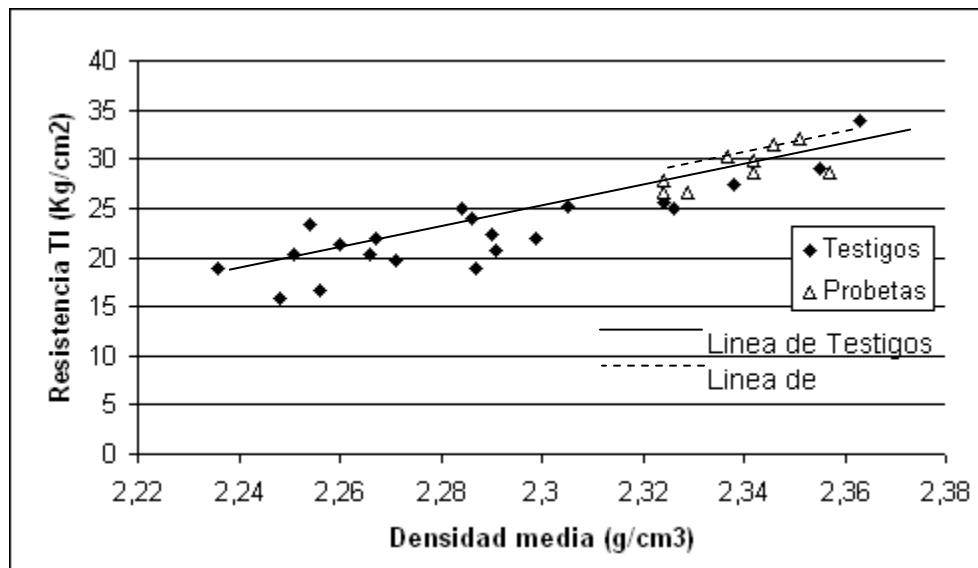


Figura 10. Correlación resistencia-densidad con probetas y testigos (Mezcla S-20)

Seguidamente se aplicó el ensayo de tracción indirecta a testigos extraídos de diferentes rutas de Cataluña, estudiando nuevamente mezclas del tipo denso, semidenso y grueso, y correlacionando las resistencias a tracción con el porcentaje de compactación alcanzado.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

El análisis de los resultados obtenidos ha permitido arribar a una propuesta de control de calidad adicional, basado en la recomendación de valores mínimos a exigir en la resistencia a tracción indirecta de los testigos, de acuerdo al tipo de mezcla, y en un factor de calidad que relaciona la resistencia media de las probetas con la de los testigos, de tal forma que se pueda cuantificar la diferencia de resistencia entre ambos.

## CORRELACIÓN ENTRE RESISTENCIA Y COMPACIDAD

Al graficar los resultados obtenidos de resistencia a tracción indirecta y porcentaje de compactación para cada muestra y cada tipo de mezcla, se observó una distribución lineal y las pendientes de las rectas resultaron parecidas. A modo de ejemplo, se presentan las figuras N° 11, 12 y 13, donde se aprecia la correlación para algunas mezclas densas D-20, semidensas S-12 y gruesas G-20.

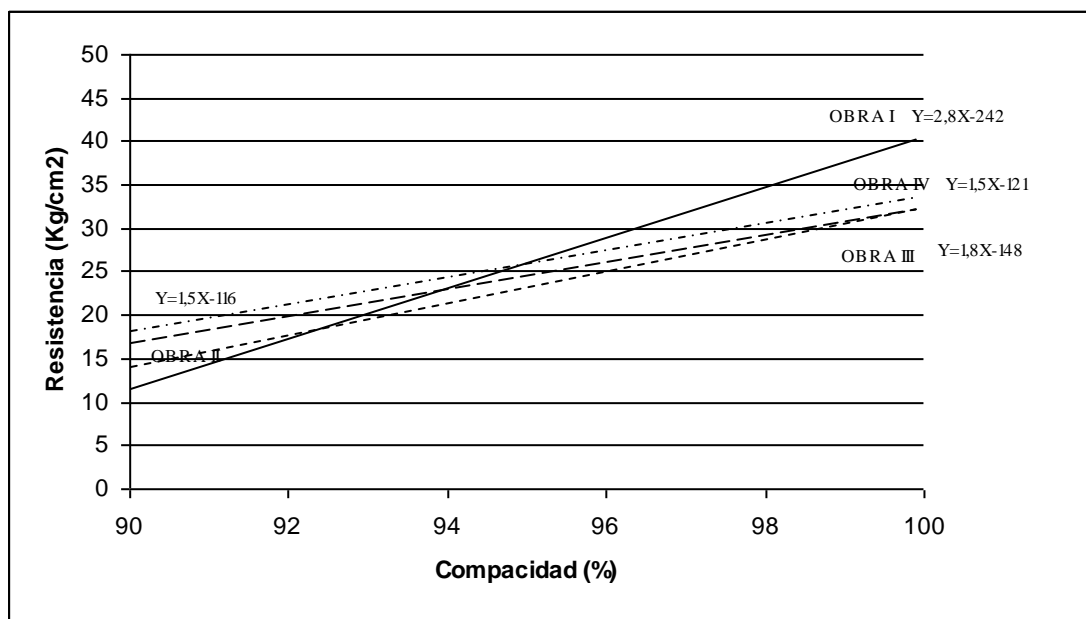


Figura N° 11: Correlación entre resistencia y compactación, mezclas densas D-20.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

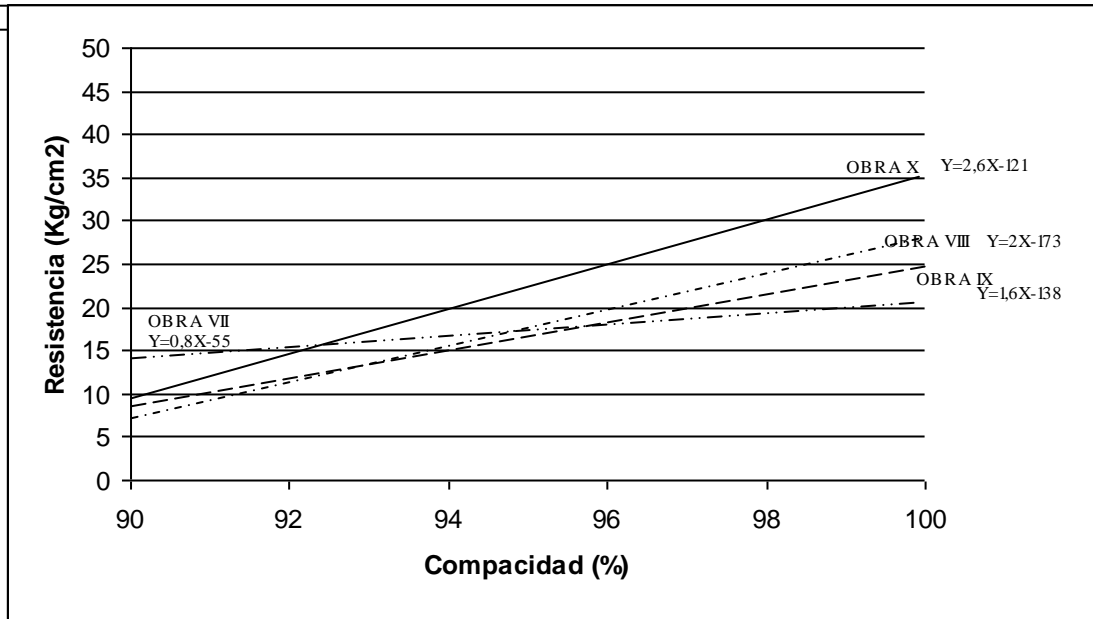


Figura N° 12: Correlación entre resistencia y compacidad, mezclas semidensas S-12.

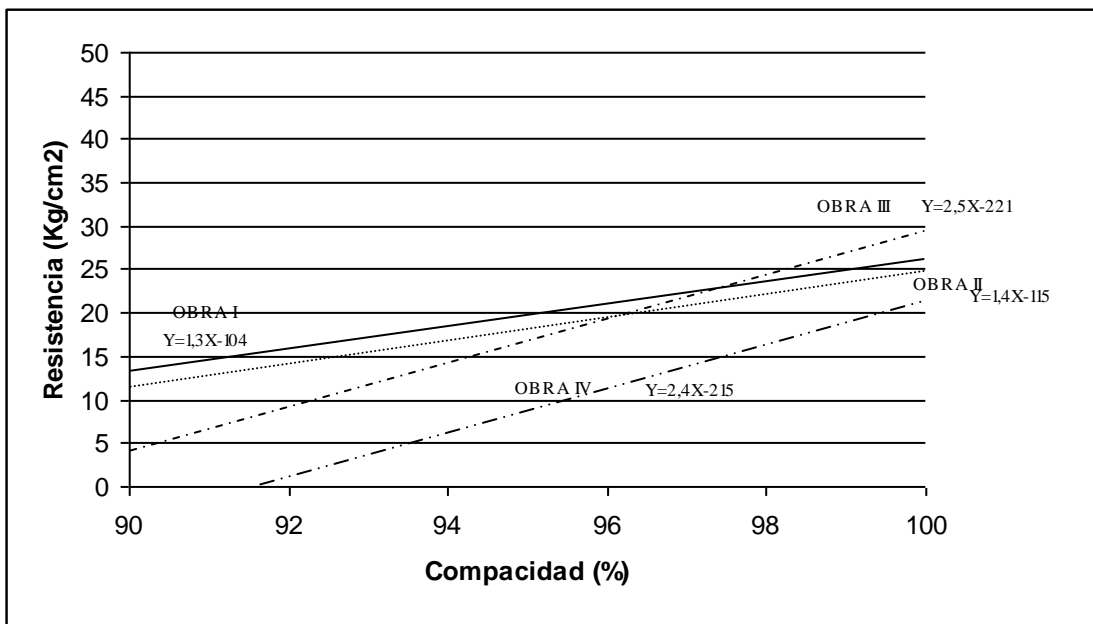


Figura N° 13: Correlación entre resistencia y compacidad, mezclas gruesas G-20.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

Para todas las mezclas estudiadas se han calculado sus valores medios de resistencias y compacidades, comparándolos con aquellos obtenidos con las probetas elaboradas en el laboratorio, fabricadas con un 4,5% de asfalto convencional B-60/70 y agregados gruesos calizos o graníticos, tal como se observa en las figuras N° 14, 15 y 16, correspondientes a mezclas D-20, S-12 y G-20.

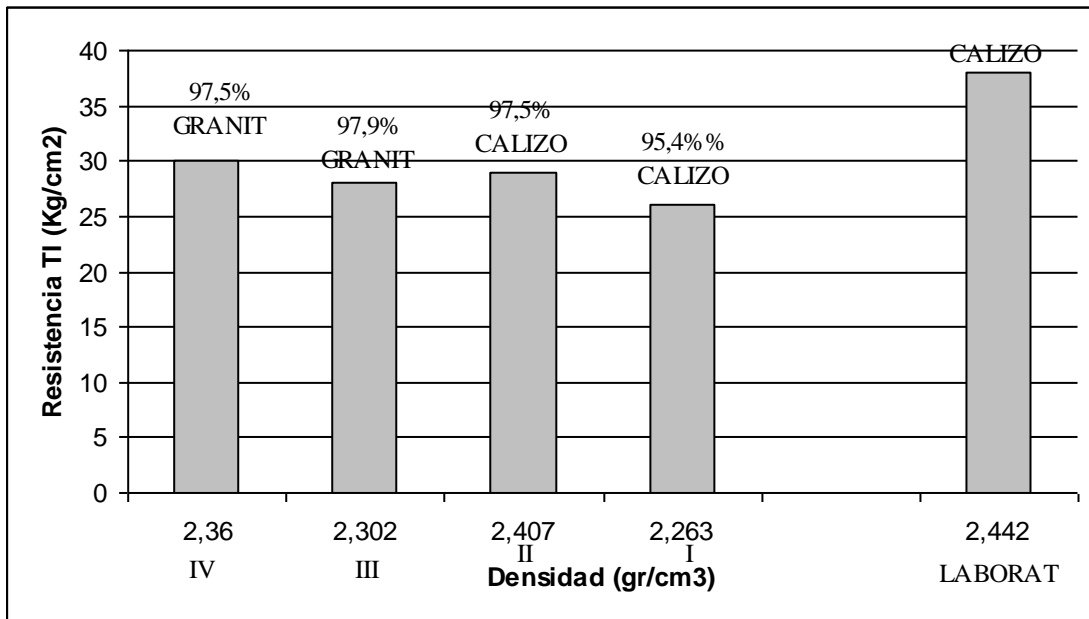


Figura N° 14: Valores medios de resistencia, densidad y compacidad, mezclas D-20.

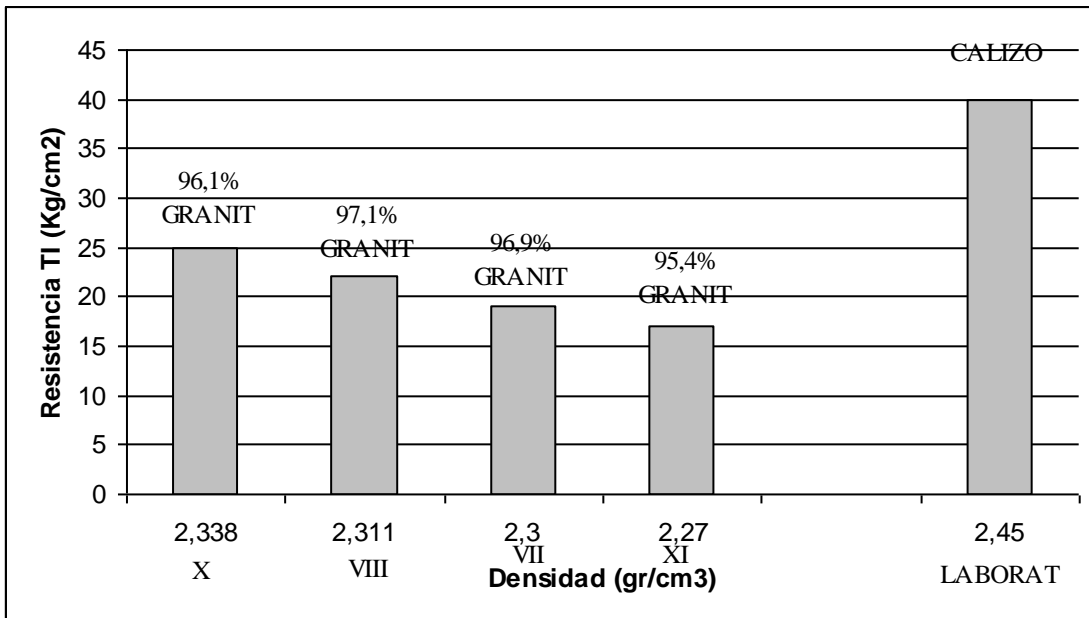


Figura N° 15: Valores medios de resistencia, densidad y compacidad, mezclas S-12.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
 ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



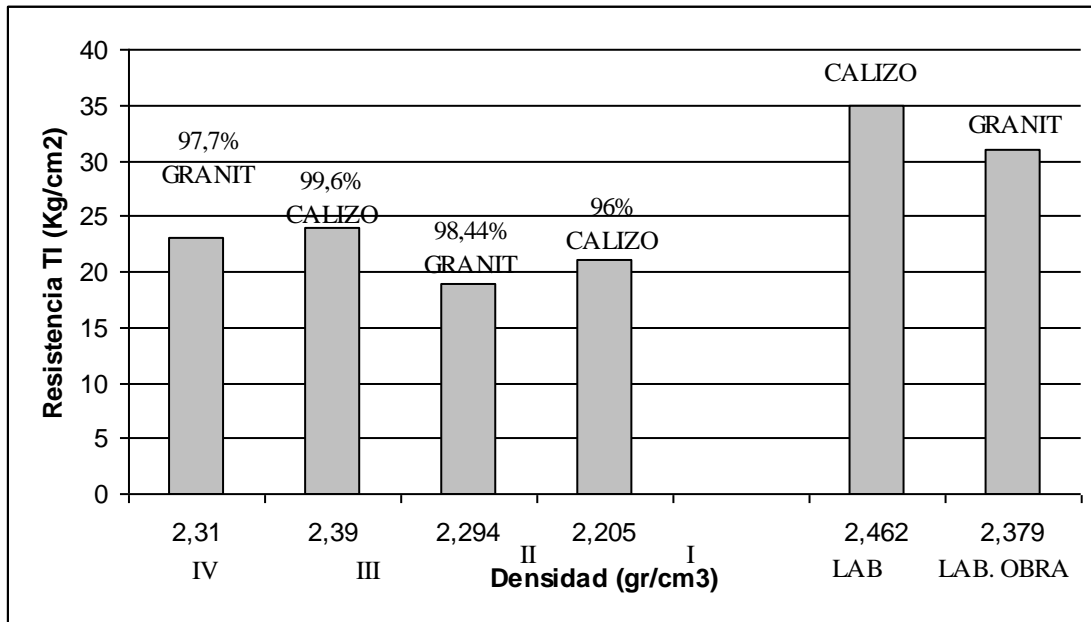


Figura N° 16: Valores medios de resistencia, densidad y compacidad, mezclas G-20.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



## CRITERIOS DE CALIDAD

El ensayo de tracción indirecta ha sido aplicado en el control de calidad de diferentes obras realizadas en Cataluña, gestionadas y controladas por GISA, desde el verano de 1997.

Estos ensayos han servido para poner de manifiesto una serie de resultados que avalan y posibilitan claramente la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de la ejecución de las mezclas bituminosas, habiendo incluso permitido determinar unos umbrales mínimos de calidad.

El primer resultado obtenido es la clara relación existente entre la compactación y la resistencia a tracción indirecta de las diferentes mezclas controladas y ejecutadas, Figura 10.

También se observa que la tendencia de la recta de regresión de los testigos es a alcanzar, para el 100% de compactación, la resistencia de las probetas fabricadas en planta. Cuanto menor sea esta diferencia mayor será la calidad conseguida, convirtiéndose por tanto en un índice de la calidad conseguida en la ejecución de la obra.

Otro de los criterios de calidad definido en el análisis de estos resultados, y tras su comparación con los obtenidos en laboratorio, ha sido el establecimiento de unos niveles mínimos de resistencia a exigir a los diferentes tipos de mezcla.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

## 6.2. EXPERIENCIA ARGENTINA

---

A partir de esta propuesta, en las Universidades Nacionales del Comahue y de La Plata se ha iniciado un proyecto de investigación tendiente a evaluar la posible implementación en Argentina de esta metodología de control adicional. El objetivo principal es conocer los valores de resistencia a tracción indirecta de las mezclas elaboradas en este país, teniendo en cuenta tanto el efecto de los diferentes materiales como el de las técnicas constructivas locales.

Se exponen a continuación, los primeros resultados obtenidos, en dos rutas de la Provincia de Buenos Aires que han sido repavimentadas durante el pasado año. En una de ellas se ha empleado un asfalto modificado con polímeros.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Se ensayaron testigos de carpetas de concreto asfáltico de la ruta A, conteniendo un 5% de asfalto modificado B-65, y de la ruta B, con un 5,1% de asfalto convencional 70-100.

Aunque se observan dispersiones en los resultados, todos los grupos de muestras han correlacionado su resistencia a tracción indirecta con el porcentaje de compactación. Para el caso de la ruta A, se han comparado dos series distintas de testigos (A1 y A2), y según se observa en la figuras N° 17, se puede apreciar que los valores promedios de resistencia y compacidad son semejantes, al igual que los demás parámetros estadísticos. Para el caso de la ruta B, también se observa una correlación, aunque la pendiente de esta recta es menor que a correspondiente a los testigos de la ruta A, elaborados con asfalto modificado.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

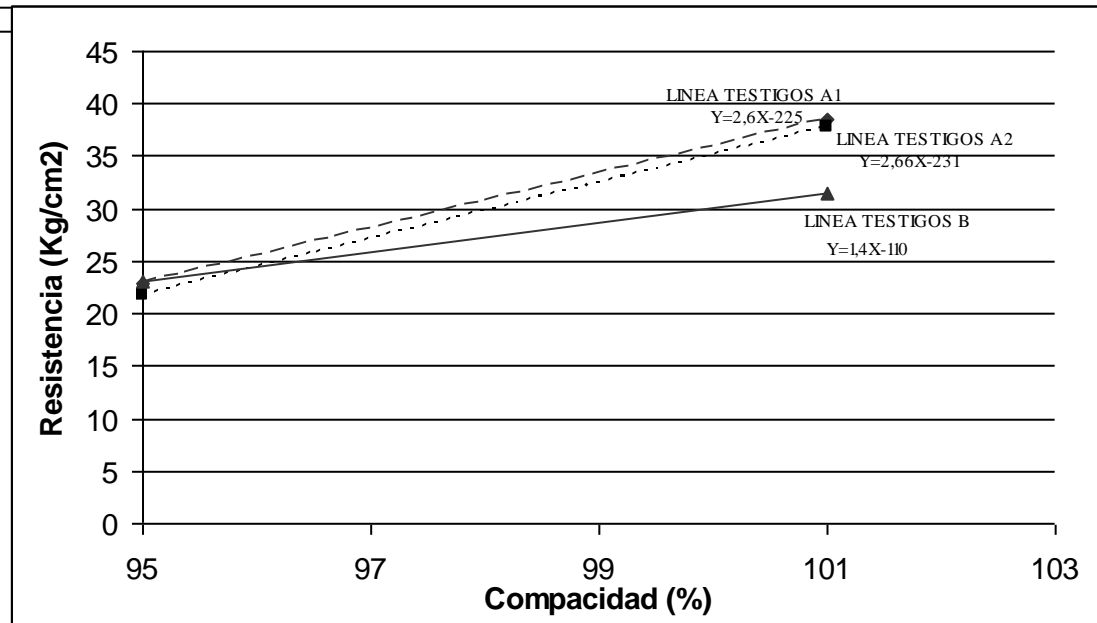


Figura N° 17 Correlación entre resistencia y compactación, mezclas para carpeta, rutas A y B

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para los testigos de la ruta A, los resultados han sido similares de los dos tramos estudiados, y de acuerdo a las tendencias obtenidas, la resistencia a la tracción indirecta de los testigos para el 100% de compactación es de aproximadamente  $35 \text{ kg/cm}^2$ . Para los testigos de la ruta B, la resistencia correspondiente al 100% de la compactación es aproximadamente de  $30 \text{ kg/cm}^2$ . Si se comparan ambas rutas, se puede observar que los valores mínimos de resistencia a tracción indirecta son semejantes, mientras que en la ruta A, donde la mezcla se ha elaborado con un asfalto modificado, se han conseguido mayores pendientes en las rectas de regresión.

También se ha analizado el efecto del espesor de los testigos extraídos, pues se detectó un rango de compactación óptima, entre 4 y 5 cm. Para valores mayores o menores, las resistencias disminuían un 10% aproximadamente. Nuevamente se manifiesta la posibilidad de que una capa más delgada se haya enfriado con mayor rapidez y su cohesión disminuya, mientras que una capa demasiado gruesa pueda resultar más difícil de compactar.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### **6.3. CONCLUSIONES DE LAS EXPERIENCIAS EXTRANJERAS**

---

Los ensayos realizados en el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña han puesto de manifiesto una serie de resultados que confirman la posibilidad de aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de ejecución de las mezclas bituminosas. A partir de estos resultados se han propuesto unas resistencias mínimas a exigir a las mezclas, de acuerdo con su tipo de granulometría.

- Mezclas D-20 y S-20 : 25 Kg/cm<sup>2</sup>
- Mezclas D-12 y S-12 : 20 Kg/cm<sup>2</sup> y deseable 25 Kg/cm<sup>2</sup>
- Mezclas G-25 y G-20 : 20 Kg/cm<sup>2</sup>

Para comparar la calidad de la mezcla obtenida en planta, con la calidad de la capa colocada y compactada, se ha propuesto analizar la diferencia de resistencias entre ambas situaciones y calcular un factor de calidad, que se determina según la expresión:

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

Siendo:

FC: factor de calidad

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

C: porcentaje de compactación admisible

b: pendiente de la correlación obtenida para los testigos entre la resistencia a tracción indirecta y la compactación

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

De este modo se puede considerar a la expresión dentro del corchete como la resistencia teórica de los testigos, teniendo en cuenta el menor grado de compactación admitido en el pliego de la obra.

El Factor de Calidad, F.C. es un indicador directo de la eficiencia de todo el proceso constructivo; cuanto menor sea F.C., mayor será la calidad y más semejanza se tendrá entre el producto final y la mezcla proyectada en laboratorio.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



La diferencia máxima que podría admitirse entre las 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 3 o 4 Kg/cm<sup>2</sup>.

Con respecto a las experiencias obtenidas en Argentina, es importante comentar que estos resultados aún corresponden a una etapa inicial del proyecto, de puesta a punto de la metodología propuesta y entrenamiento del personal técnico designado para la realización de las actividades de rutina. En el desarrollo de este proyecto, estará incluido un seguimiento periódico de las obras seleccionadas, con la intención de analizar la evolución del parámetro en estudio a través del tiempo.

Se está en condiciones de asegurar que, con el soporte de la investigación y el interés de los organismos dedicados a la actividad vial, la caracterización mecánica de testigos de concreto asfáltico mediante el empleo del ensayo de tracción indirecta representará una herramienta importante en el control de ejecución de pavimentos flexibles.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



---

**7. TRABAJOS REALIZADOS EN LABORATORIO Y CAMPO**

---

Con el fin de cumplir los objetivos y alcance en la Tesis propuesta se realizaron los siguientes trabajos:

a) Confección de briquetas en laboratorio.

Para la confección de briquetas en laboratorio se procedió en primer lugar a calificar los materiales pétreos y asfálticos a fin de que cumplan con lo establecido en las especificaciones técnicas, seguidamente confeccionamos un total de 120 briquetas atendiendo a las fórmulas maestras de las compañías: Herdoiza Crespo, Técnicos Ecuatorianos Asociados (T. E. A.) y Menatlas.

b) Extracción de núcleos.

Se extrajeron un total de 75 núcleos de capas de rodadura (25 de cada proyecto) de las vías cuyos diseños fueron tomados para la elaboración de briquetas.

c) Ensayo de Tracción Indirecta.

Aplicamos el ensayo de tracción indirecta tanto a testigos extraídos de vía, como a briquetas confeccionadas en laboratorio, haciendo variar la temperatura y tiempos de inmersión de las briquetas en el baño maría para simular condiciones ambientales adversas tanto en humedad (lluvia en carreteras) como en temperatura (fuertes veranos que causan calentamiento a la capa de rodadura)

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



## **7.1. CALIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.**

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado (piedra). Hay muchos tipos de asfalto y muchos tipos de agregado. En consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos. Los tipos más comunes de pavimentos asfálticos son:

- Concreto asfáltico (mezcla asfáltica en caliente con granulometría densa)
- Capa asfáltica de fricción con granulometría abierta.
- Mezcla asfáltica de arena
- Mezcla asfáltica de poco espesor
- Mezclas con asfaltos emulsificados (mezclas en frío)

El pavimento de concreto asfáltico es el pavimento asfáltico de mejor calidad. Esta compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente. Después de que las partículas de agregado son revestidas uniformemente, la mezcla en caliente se lleva al lugar de la construcción, en donde el equipo asfaltador la coloca sobre la base que ha sido previamente preparada. Antes de que la mezcla se enfríe, las compactadoras proceden a compactarla para lograr la densidad especificada.

Existen otros tipos de pavimentos que se producen en forma similar. Los pavimentos con mezclas en frío utilizan asfaltos diluidos (asfaltos cortados); requieren muy poco o ningún calentamiento de materiales y con frecuencia pueden ser producidos en el lugar de construcción sin necesidad de una planta central.

Para iniciar nuestra investigación tomamos como punto de partida los diseños de las carpetas asfálticas presentados y aprobados por las respectivas fiscalizaciones de las compañías Menatlas, Tea, y Herdoiza Crespo en los proyectos antes mencionados, de los cuales se extraerán núcleos y se reproducirán briquetas atendiendo a los diseños aprobados.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





Con el fin de poder elaborar briquetas en laboratorio, y tener la certeza que reúnen las características necesarias para cumplir con cada uno de los diseños, se procedió a analizar los ingredientes que intervienen en la mezcla, es decir agregados y asfalto empleados.

### 7.1.1. CONTROL SOBRE LOS AGREGADOS

A continuación se muestran los resultados de los ensayos aplicados a los diferentes agregados empleados en la investigación con las respectivas normas y tolerancias a cumplir.

#### AGREGADO CIA MENATLAS:

Agregado grueso del río Pita (Cashapamba) cribado y triturado, agregado fino: mezcla de arena de la mina Disensa, con arena del río.

ENSAYO	NORMA	VALOR OBTENIDO	MOP 001 F-2002 811-2.02	
			mínimo	máximo
Abrasión de los Ángeles	INEN 860	29%	----	40%
Plasticidad	INEN 691	NP	IP <4	
	INEN 692			
Desgaste sulfatos A. Fino	INEN 863	5.10%	-----	12%
Desgaste sulfatos A. Grueso	AASHTO T 104	2.60%		
Resistencia a la peladura	AASHTO T 182 ASTM D 1664-69	<95%	95%	100%
Equivalente de arena	AASHTO T 176 ASTM D2419	78.70%	50%	-----
% Piedras lajas	ASTM D4791	7%	-----	10%
% Piedras angulosas	ASTM D 5821	90%	85 %	-----

#### AGREGADO CIA HERDOIZA CRESPO

Material encontrado en vía, arena de la mina Caizán (río Guayllabamba)

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



ENSAYO	NORMA	VALOR OBTENIDO	MOP 001 F-2002 811-2.02	
			mínimo	máximo
Abrasión de los Ángeles	INEN 860	35%	----	40%
Plasticidad	INEN 691	NP	IP <4	
	INEN 692			
Desgaste sulfatos A. Fino	INEN 863	5.70%	-----	12%
Desgaste sulfatos A. Grueso	AASHTO T 104	2.6.%		
Resistencia a la peladura	AASHTO T 182 ASTM D 1664-69	<95%	95%	100%
Equivalente de arena	AASHTO T 176 ASTM D2419	85%	50%	-----
% Piedras lajas	ASTM D4791	5%	-----	10%
% Piedras angulosas	ASTM D 5821	88%	85 %	-----

## AGREGADO CIA TEA

ENSAYO	NORMA	VALOR OBTENIDO	MOP 001 F-2002 811-2.02	
			mínimo	máximo
Abrasión de los Ángeles	INEN 860	29%	----	40%
Plasticidad	INEN 691	NP	IP <4	
	INEN 692			
Desgaste sulfatos A. Fino	INEN 863	5.70%	-----	12%
Desgaste sulfatos A. Grueso	AASHTO T 104	2.20%		
Resistencia a la peladura	AASHTO T 182 ASTM D 1664-69	<95%	95%	100%
Equivalente de arena	AASHTO T 176 ASTM D2419	68%	50%	-----
% Piedras lajas	ASTM D4791	8%	-----	10%
% Piedras angulosas	ASTM D 5821	90%	85%	-----

Agregado del río Pita (Cashapamba) cribado y triturado, agregado fino: arena del río

**7.1.2. CONTROL SOBRE EL ASFALTO AP-3**

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Otra parte esencial a analizar es lo referido al asfalto empleado, ya que si se quiere que el producto final sea óptimo, los ingredientes constituyentes también deben serlo.

El asfalto es un derivado del petróleo de color negro o castaño oscuro. Es un compuesto hidrocarburífero, que se obtiene luego de la refinación de petróleo, tienen alto peso molecular, y en su estructura predominan los asfáltenos.

### **DESCRIPCIÓN (Según MOP-001-F-2002 sec 810)**

“Los cementos asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracterizan por permanecer en estado semisólido a la temperatura del ambiente. Los cementos asfálticos mezclados con agregados forman el hormigón asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura o base.”

Se trata un material cementante que cuando se calienta lo suficiente, el se ablanda y se vuelve líquido lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente.

El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y se toman medidas durante su construcción para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento

### **COMPOSICIÓN DEL ASFALTO AP-3:**

**Aceites:** Hidrocarburos de alto peso molecular, más resinas protectoras absorbidas

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**Maltenos:** Aceites resinosos de alto peso molecular

**Insolubles Orgánicos:** Hidrocarburos de alto peso molecular con pequeñas cantidades de resinas absorbidas.

Las cantidades de elementos constitutivos del asfalto varían dependiendo del origen del crudo, así:

COMPUESTO	DESDE	HASTA
% DE CARBONO	70	90
% DE HIDROGENO	7.3	10.1
% DE AZUFRE	0.56	9.5
% DE CENIZAS	0.06	1.25
% DE NITRÓGENO	0.05	7

La Refinería Estatal de Esmeraldas, es el complejo más grande del Ecuador, y la única planta industrial que suministra este importante material hidrocarburífero, desde su puesta en operación en 1977. genera tres tipos o grados de asfaltos en volúmenes que satisfacen la demanda nacional y que acogen a las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Normalización (INEN)

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



La refinería tiene la responsabilidad de proveer el asfalto destinado a todo el país, se trata de asfaltos de penetración Grado II (60-70), y de Grado III (85-100), que se obtienen directamente como residuo de la torre de destilación al vacío.

El asfalto de Grado I (curado rápido), se lo prepara en los tanque de almacenamiento a partir del asfalto base, al que se le agrega nafta pesada en cantidades cercanas al 25% hasta ajustar la viscosidad especificada a 60°C.

El muestreo y los ensayos necesarios que se efectúen para comprobar las propiedades de los cementos asfálticos, deben seguir los procedimientos estipulados en las Normas INEN, y de no haberlas, se deberá optar por lo indicado en las Normas AASHTO que correspondan.

La Tabla 810-2.2 de MOP F 001 2002, detalla las normas mas importantes a cumplir :

TABLA 810.2.1

ENSAYOS	60-70		85-100	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Betún Original				
Penetración (25°C,100gr,5 s), mm/10	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57	45	53
Ductilidad (25°C, 5 cm/min), %	100	--	100	--
Punto de inflamación, Copa de Cleveland, °C	232	--	232	--
Densidad relativa, 25 °C/25°C	1	--	1	--

Según las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP – 001 – F – 2002 afirma lo siguiente en su numeral 405.5.02 referido a materiales empleados en hormigones asfálticos mezclados en planta:

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

“El tipo y grado del material asfáltico que deberá emplearse en la mezcla estará determinado en el contrato y será mayormente cemento asfáltico con un grado de penetración 60 –70. En caso de vías que serán sometidas a un tráfico liviano o medio se permitirá el empleo de cemento asfáltico 85 –100.”

En el siguiente cuadro se detallan los resultados del análisis que realizamos, con las respectivas normas y tolerancias a cumplir, si se deseara se podrá verificar cada ensayo en el anexo A.

ENSAYO	NORMA	VALOR OBTENIDO	MOP F 001 2002 Tab. 810.2.1.	
			mínimo	máximo
Gravedad específica	AASHTO T 229-74	1.016	1.00	-----
	A.S.T.M.D 71- 72a			
Penetración (25°C,100g,5s) mm/10	AASHTO T 49-78	62.33	60	70
	A.S.T.M. D-5-73			
Ductibilidad (25°C, 5 cm/min) cm	AASHTO T 51-74	>150	100	-----
	A.S.T.M. D 113 -76			
Ablandamiento °C	ASHTO T 53-74	55.33	48	57
	A.S.T.M. D 2398-68			
Punto de Inflamación, cleveland °C	AASHTO T 48-74	245	232	-----
	A.S.T.M. D 92-66			

Como se puede apreciar el asfalto utilizado en esta investigación reúne los requisitos más importantes que exigen las especificaciones pertinentes.

Una vez que hemos analizado tanto agregados como asfaltos, llegamos a la conclusión de adoptar los diseños aprobados por fiscalización de la compañía Menatlas, Tea y Herdoíza Crespo (anexos B, C y D), de tres carpetas asfálticas tendidas en la ciudad de Quito, con cuyas fórmulas maestras fabricaremos briquetas en laboratorio. Además extraeremos núcleos de cada proyecto con el fin de comparar resultados y dibujar curvas de comportamiento térmico que nos den parámetros de correlación.

## 7.2. PREPARACIÓN DE BRIQUETAS EN LABORATORIO

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

Las probetas de ensayo las preparamos cumpliendo con los parámetros de cada diseño.

Las muestras fueron confeccionadas de la siguiente manera:

Calentamos y mezclamos completamente el agregado y asfalto hasta que todas las partículas estén revestidas del material bituminoso. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en planta, cuidando siempre de elevar lentamente la temperatura del asfalto para no alterar sus propiedades. Al momento de la mezcla ambos componentes deben estar a temperaturas similares comprendidas entre los 120° C y 160°C, con una diferencia tolerable de 10°C.



Las mezclas asfálticas calientes las colocamos en los moldes pre-calentados, para que la mezcla no pierda calor, el martillo Marshall también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla a golpear.



AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

Las briquetas fueron compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada, para nuestro estudio fueron siempre 75 golpes. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes.



Después de completar la compactación las probetas fueron enfriadas y extraídas de los moldes con la ayuda de un gato hidráulico.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### 7.2.1. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO

---

#### COMPACTADOR DE ASFALTO ( ELE serie EI 45-66 10)



- Contador digital con pulsador de reposición. .
- Simula los procedimientos de compactación a mano.
- Acepta moldes de especímenes de 101 mm (4 pulg.) y 152 mm (6 pulg.).
- Sistema de contador electrónico de alta precisión.

El Compactador de Asfalto, serie EI 45-66 10, resulta idóneo para la preparación de los especímenes de mezclas bituminosas en los ensayos de Estabilidad Marshall y tracción indirecta.

El compactador simula automáticamente la compactación manual, asegurando además la repetibilidad de los resultados de compactación. El mecanismo de disparo está diseñado de forma que la distancia de caída del martillo sea la misma en cada impacto. Un peso en la parte superior del ensamblaje del martillo elimina los efectos de rebote sobre la muestra.

El nuevo sistema contador electrónico basado en la tecnología más avanzada de sensores sin contacto asegura la parada automática de la máquina cuando se alcanza el

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

número de impactos prefijados. La compactación automática permite obtener resultados consistentes y repetibles con un menor cansancio por parte del operario. Este sistema permite preparar un mayor número de especímenes de mezclas bituminosas, incrementando por lo tanto la productividad del laboratorio.

### ESPECIFICACIONES

Controles.	Montados en un pedestal separado para evitar sacudimientos; control de potencia, arranque y contador,
Contador.	Pulsador; ajuste del recuento y pulsador de reposición.
Motor,	1/3 c.v con protectores de correas
Martillo.	4,54 kg (10 libras) de peso, con una caída de 457 mm (18 pulg.); cara circular.
Mecanismo de elevación.	Palanca can pasador de retención; agarra y levanta el martillo,
Pedestal,	Dos pernos para los anillos de fijación del molde. Pasadores guía separados para moldes de 101 mm (4 pulg.) y de 152 mm (6 pulg.).
Sistema de sujeción del molde.	Anillo de fijación con tuercas para los moldes de 101 mm (4 pulg.) de diámetro.
Dimensiones generales.	355 mm a. x 457 mm p. x 1.625 mm a. (14 pulg. x 8 pulg. a 64 pulg.).
Peso.	Neto 113 kg (250 libras); embalado 147 kg (325 libras).

El Compactador se suministra en su versión estándar para preparar especímenes de 101mm (4 pulg.) de diámetro únicamente

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**7.2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA**

**CONFECCIÓN DE BRIQUETAS**

Los resultados que se pueden obtener en laboratorio al realizar el ensayo de tracción indirecta, dependen lógicamente de la calidad del producto que se va a ensayar, en este caso hablamos de las briqueta, y su buena confección obedecerá a más del cumplimiento de las normas y especificaciones pertinentes, al buen tino y práctica del laboratorista que realice el ensayo, algunos de estos factores que a su vez deben servir de recomendaciones a tomar en cuenta son los que se mencionan a continuación:

- Control de temperaturas constantes para todas las briquetas de un determinado diseño, durante los procesos de confección tales como pesado, mezclado, compactado.
- Colocación de la mezcla asfáltica en molde de briqueta tratando lo mejor posible de no segregar los agregados finos y los agregados gruesos.
- Introducir con espátula en la mezcla alrededor del molde (15 golpes) con el objeto de evitar vacíos en los contornos de la briqueta, tratando de que en todos los casos el acomodo de los agregados se produzca en grado similar
- Utilización de la misma balanza, para todas las briquetas, especialmente al momento de pesar los gramos de asfalto añadido al agregado, pues de esta manera se mantendrá algún posible porcentaje de error que puede variar de balanza a balanza por mas exactas que sean.
- Limpieza y calentamiento a la misma temperatura tanto de moldes de briquetas, base y martillo de la máquina compactadota, para evitar que en algunos casos se robe temperatura a la mezcla por parte de estos accesorios.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



- Poner atención en el número de golpes que da la máquina compactadora de briquetas (75 golpes para tráfico pesado) debido a que el contador puede fallar, si existiese alguna duda se debería desechar esas briquetas.
- Esperar que el molde se haya enfriado, y se encuentre a temperatura ambiente antes de sacar la biqueta de su interior inmediatamente, esta consideración debe aplicarse para todas las briquetas.
- Cuando introducimos una tanda de briquetas en agua para su posterior ensayo, se las debe sumergir tomando en cuenta el tiempo que nos tardaremos en fracturar a cada una de ellas, con el fin de que al final del ensayo todas y cada una de ellas hayan permanecido el mismo tiempo en inmersión.
- Luego de confeccionadas las briquetas se debe tener en cuenta el hecho de no exponerlas al sol ni a la lluvia, factores que podrían afectar sus condiciones mecánicas

Todos estos factores harán que en muchos casos por más cuidado que se tenga en los diferentes procesos requeridos, se induzca en fallas que nos lleven a obtener resultados alejados de la realidad. Por lo dicho siempre se ensayará un número impar de briquetas en cada tanda, con la finalidad de desechar datos erróneos y exista una mayoría de valores que confirmen una tendencia. Por esta razón se han desechado algunos datos en los ensayos de laboratorio, los cuales se han marcado de color azul.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### **7.3. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN VÍA**

#### **7.3.1. UBICACIÓN DE PROYECTOS ANALIZADOS**

- Pavimentación del corredor norte tramos III y IV, (Av. Diego Vásquez de Cepeda desde el Estadio Casa Blanca hasta el Intercambiador de Carcelén) a cargo de la constructora Menatlas.
- Ampliación norte de la Av Simón Bolívar tramo I (Intercambiador de Monte olivo – quebrada de Zámbriza), a cargo de la constructora Herdoíza Crespo.
- Pavimentación de la avenida Jorge Garcés, entre la avenida Eloy Alfaro y calle Endara, sector norte de la ciudad

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

### **7.3.2. MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS**

Con el fin de practicar el ensayo de tracción indirecta en testigos tomados en vía de los diferentes proyectos, se procedió a la extracción de un total de 75 núcleos, 25 por vía, para lo cual se empleo la maquinaria cuyas especificaciones se describen a continuación.

#### **PERFORADORA SACA NÚCLEOS PORTÁTIL A GASOLINA**



- Hecha para servicio pesado, aunque de peso ligero para facilitar su transporte.
- Capacidad de broca de hasta 203 mm (8 pulg.) de diámetro.
- Motor de gasolina de 4 tiempos. 8 c.v.

De eficacia altamente demostrada a través de muchos años de servicio, está máquina es la perforadora preferida para extraer testigos en carreteras, autopistas y otras estructuras. Es utilizada ampliamente por contratistas de obras públicas, laboratorios de ensayo, municipios, servicios de carreteras y otros organismos.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

**ESPECIFICACIONES**

Motor.	Gasolina; 4 tiempos, 8 c.v.
Velocidad	Variable; 1. 100 rpm máximo estándar; 3.400 rpm mediante modificación en campo.
Posición de perforación.	Perforación vertical únicamente,
Capacidad de lo broca,	Hasta un diámetro de 203 mm (8 ”)./ utilizamos de (4 ” )
Recorrido de la columna,	550 mm (22 ”).
Peso.	Neto 125 kg (275 libras)

**7.3.3. PROCEDIMIENTO PARA LA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS**

La correcta utilización del equipo, tendrá como resultado la obtención de muestras que ayuden a obtener resultados confiables al momento de realizar el ensayo, y lógicamente repercutirá en la vida útil de la broca de diamante y del equipo en general. Es por esto que se deberá tomar las siguientes precauciones al momento de la extracción.

Siempre nos aseguramos de que la broca trabaje mojada durante toda la penetración y hasta el momento de su extracción, esto con el propósito de evitar recalentamientos excesivos debido a la fricción que podrían causar la rotura de los dientes de la misma.



AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

La broca siempre penetró formando un ángulo recto respecto de la superficie plana de la muestra, de esta manera, la máquina realiza menor esfuerzo, el agregado se afectará lo menos posible, se conseguirán muestras sin ondulaciones en las paredes laterales que puedan causar un error al momento de interpretar la medida diametral, y en general se obtendrá una muestra con mayores probabilidades de cumplir con los requerimientos pertinentes, para la ejecución del ensayo.



La penetración siempre fué mas allá de la capa en estudio y es preferible que la muestra se quede dentro de la broca al momento que esta es extraída, de esta manera el testigo será estropeado lo menos posible.



AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



En los casos en que fue necesario, se necesitó de una sierra eléctrica para realizar cortes exactos, con el fin de separar la capa en estudio y conseguir paralelismo entre caras.



Los testigos fueron extraídos tratando de tomar muestras representativas de las vías analizadas, a una distancia de 150 metros entre ellos, siempre alternando el sitio de extracción, es decir orilla izquierda, centro y orilla derecha en ambos sentidos de circulación, sumando 25 núcleos por proyecto y 75 en total.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

### **7.3.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS**

- La superficie de la capa de rodadura debe estar limpia, no debe existir baches o fallas estructurales del pavimento ni juntas ya que esto provocara que los testigos extraídos en ese sector arrojen datos erróneos.
- Cuando al perforar, por algún motivo la máquina se apaga y es necesario destrabar la broca, moviéndola de su eje perpendicular a la superficie plana, pudiera potencialmente estar provocando un daño excesivo a esta muestra.
- Cuando al terminar de perforar y extraer la broca, la muestra se queda aun dentro de la vía, en muchas ocasiones se utilizan mecanismos de extracción manual poco adecuados, que pudieran afectar la cara superficial.



- Fallas constructivas propias de la vía que en ciertos sectores se manifiestan más que en otros, especialmente hablamos de deficiencia en la compactación y segregación del material, evidente al encontrar porosidad en ciertas muestras.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**7.4. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL DE MEZCLAS**

**BITUMINOSAS (NORMA ESPAÑOLA NLT-159)**

**7.4.1. ALCANCE**

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de mezclas bituminosas utilizadas en pavimentación de carreteras. El procedimiento se emplea tanto para probetas del material fabricadas en laboratorio o en obra como para las probetas-testigo extraídas del pavimento.

El principio del método consiste en imponer una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa de forma que los esfuerzos aplicados a la probeta sean sobre dos generatrices opuestas. El parámetro a medir es la carga de rotura de la probeta. También, optativamente, se pueden determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la probeta durante la realización del ensayo si se dispone de los sistemas pertinentes para medirlos.

El método de ensayo permite, por una parte, definir un parámetro capaz de caracterizar la mezcla bituminosa y, por otra, optimizar, en función del contenido de ligante, la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante.

El procedimiento se puede utilizar en el control de calidad de las mezclas bituminosas durante la fabricación o la puesta en obra de las mismas.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



#### 7.4.2. APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

- Prensa. Para ensayar las probetas se empleará cualquier tipo de prensa de compresión mecánica o hidráulica, que pueda proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento del sistema de carga de  $0,85 \pm 002$  mm/s y una carga de 100 kN (10 kgf) como mínimo (Nota 1).

Nota 1. La prensa utilizada para el ensayo Marshall, que se describe en la norma NLT-159 es adecuada para satisfacer el objeto de la presente norma.

- Recinto termostático. Un recinto de capacidad suficiente para guardar las probetas para ensayo y mantenerlas a una temperatura de  $25 \pm 1$  ° C, y en el caso de variación a la que se requiera.
- Calibrador. Para medir con precisión de  $\pm 0,1$  mm el diámetro la altura de las probetas para ensayo.
- Dispositivo de sujeción de la probeta (Optativo). El dispositivo permitirá la sujeción mediante contacto de la probeta por sus caras planas, utilizando dos tornillos de ajuste, así como la colocación de la probeta de forma que dos de sus generatrices, diametralmente opuestas estén contenidas en el plano diametral perpendicular a los platos de la prensa. El contacto de estas dos generatrices con los elementos transmisores de la carga se puede hacer por medio de dos bandas de apoyo de madera contrachapada o cartón sin defectos, de 3 mm de espesor, 25 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente superior a la generatriz de la probeta. Las bandas de apoyo no se utilizarán en más de un ensayo. También se puede situar la probeta directamente entre los dos platos de la prensa, siempre que se asegure el paralelismo entre ellos durante la carga, que es nuestro caso.

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

- Sistema de medida ( $\pm 0,01\text{ mm}$ ) de desplazamiento vertical (optativo).

- Sistema de medida ( $\pm 0,01\text{ mm}$ ) de desplazamiento horizontal (optativo).

### 7.4.3. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO UTILIZADO

**MÁQUINA DE ESTABILIDAD MARSHALL A.S.T.M. D- 1559; AASHTO T-245.**



- Pulsadores de funcionamiento que controlan el movimiento del tornillo de carga.
- Los pilotos que indican que la unidad está en funcionamiento, también indican el momento en que se alcanza el límite del ensayo o carga máxima.
- Unidad equipada con un anillo de carga de 27 kN (6.000 libras) de capacidad.
- Acepta Cabezales de Rotura de Estabilidad Marshall y Lottman de 101 mm (4 pulg.) o de 152 mm (6 pulg.),

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



La Máquina de Estabilidad Marshall permite medir de manera rápida y exacta la resistencia al flujo plástico de las mezclas bituminosas de acuerdo con las normas de ensayo A.S.T.M. D- 1559 y AASHTO T-245

Su funcionamiento se basa en pulsadores provistos de luces piloto que indican que la unidad está en funcionamiento y también el momento en que la platina ha llegado a su límite (punto de recorrido máximo).

La automatización del ensayo Marshall permite lograr una mayor uniformidad del procedimiento de ensayo. Los errores humanos generalmente se eliminan y el ensayo de cada muestra se realiza automáticamente en base a la configuración elegida.

### ESPECIFICACIONES

Capacidad.	Dial marca 44.5 kN (10.000 lbf), máxima.
Anillo de cargo.	27 kN (6.000 Ib()) de capacidad.
controles,	Interruptor de funcionamiento arriba/abajo/parada can pilotos indicadores del limite de funcionamiento.
Motor,	3/4 CV., reversible.
Velocidad.	.50,8 mm (2 pulg.) por minuto.
Carrero.	64 mm (2,5 pulg.) máximo.
Apertura.	254 mm (10 Pulg.) entre montantes; 191 mm (7- 1/2 pulg.) entre lo platino y el pistón de cargo.
Dimensiones generales.	356 mm o. x 584 mm p. a 1.016 mm a. (14 pulg. a 23 pulg. a 40 pulg.).
Pesa,	Neto 84 kg (185 libras); embalado 91 kg (200 libras).

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

## CABEZAL DE ROTURA LOTTMAN A.S.T.M. D-4 1 23; AASHTO T-283.



- Fabricado en estricto cumplimiento de las normas A.S.T.M. y AASHTO
- Rodamientos de bronce que aseguran un deslizamiento sin obstrucciones.
- Construcción en acero chapado para facilitar su limpieza y su resistencia a la oxidación.
- Tiras de carga con maquinado de precisión.
- Disponible en modelos de 101 mm (4 pulg.) o 152 mm (6 pulg.).

El Cabezal de Rotura Lottman está diseñado para su uso en la determinación de la resistencia a la tracción de especímenes de ensayo Marshall, utilizando bien: el “Método de Ensayos Lottman Modificado” o el “Ensayo de Estabilidad Reten”

El Cabezal de Rotura Lottman es de diseño similar al Cabezal de Rotura Marshall con la diferencia de que incorpora dos tiras de carga con maquinado de precisión en lugar de los segmentos de cilindro superior e inferior. Están disponibles bien en modelos de 101 mm (4 pulg.) o 152 mm (6 pulg.), dependiendo del tamaño de los áridos contenidos en la mezcla a someter a ensayo.

## ESPECIFICACIONES

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Diseño	Dos tiras de carga montadas dentro del marco
Tiras de carga	EI 45-6860: 76.2 mm x 1. x 12.7 mm a x 19 mm a (3 pulg x ½ pulg x ¾ pulg) con radio de 50.8 mm (2 pulg.) en el extremo del contacto EI 45-6862: 107.9 mm x 1. x 19 mm a x 19 mm a (4 ¼ pulg. x ¾ pulg. x ¾ pulg.) con radio de 76.2 mm (3 pulg.) en el extremo del contacto
Base	152.4 mm (6 pulg.) de diam.
Pesos	EI 45-6860: Neto 4 kg (9 libras) EI 45-6862: Neto 5 kg (11 libras)

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





#### **7.4.4. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA**

- Probetas para ensayo: características y preparación. El ensayo se puede realizar sobre probetas cilíndricas fabricadas en laboratorio o sobre testigos extraídos del pavimento. Aunque las dimensiones de las probetas no son característica privativa del ensayo, se deben utilizar preferentemente las de diámetro 101 mm y altura de unos 63 mm (probeta Marshall). El proceso de compactación de la probeta (energía y temperatura) se efectuará de acuerdo con las características de la mezcla y del ligante asfáltico en estudio, y se puede realizar por medio de impacto (Marshall), amasado cizallamiento (máquina giratoria), compresión rápida (prensa) o cualquier otro conforme al fin perseguido en el ensayo. Para nuestro análisis se adoptó el impacto Marshall, siguiendo el mismo procedimiento utilizado para elaborar briquetas que sirvieron para el diseño.
- Los testigos extraídos del pavimento presentarán un diámetro constante sobre toda la longitud de los mismos y las superficies laterales no presentarán irregularidades. Para obtener una altura uniforme se debe aserrar el testigo de tal suerte que las superficies planas del mismo sean paralelas. Si el testigo procede de la capa de rodadura no es necesario eliminar la zona superficial superior si esta zona no presenta irregularidades mayores de  $\pm 5\%$  de la altura del testigo-probeta y de 5 mm como máximo. La altura mínima de los testigos-probeta para el ensayo no será menor de 30 mm.

### **EJECUCIÓN DEL ENSAYO**

Medida geométrica de las probetas o testigos. - Con el calibrador se determina el diámetro  $\pm 0.1$  mm, de la probeta en seis planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano medio y dos en el plano inferior. El diámetro medio,  $d$ , es la media aritmética de las seis medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior a 1 mm.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

La altura de la probeta se mide también con precisión de  $\pm 0.1$  mm en cuatro puntos definidos por los extremos dos planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10mm inferior al radio de la probeta. La altura media,  $h$ , es la media aritmética de las cuatro medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior al 5 % de la altura media, con un máximo de 5 mm.



Acondicionamiento térmico de las probetas. Se introducen las probetas en el baño termostático regulado a  $25 \pm 1$  C. durante 6 h, y se sacan del mismo, una a una, inmediatamente antes de ensayarlas (Nota 2).



#### NOTA 2.

Se puede realizar el ensayo a otras temperaturas con el fin de estudiar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio. No obstante hay que tener presente que temperaturas por encima del punto de reblandecimiento del ligante exaltan el carácter viscoso de las mezclas, y que la fórmula empleada en la determinación de la resistencia a tracción indirecta, sólo es estrictamente aplicable a materiales con carácter fundamentalmente elástico.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

- Se retira la probeta del baño termostático y se sitúa en el dispositivo de sujeción, o directamente entre los platos de la prensa, según sea el caso, con dos de sus generatrices opuestas en contacto con los mismos.



- Si se dispone de elementos de medida de deformación vertical y horizontal se colocan en posición de medida y se ajustan a cero.
- Se aplica la carga a la probeta manteniendo la velocidad de deformación de  $0,85 \pm 0,02$  mm constante hasta que se rompa la probeta.



- El tiempo transcurrido entre el momento en que se retira una probeta del recinto termostático y la rotura de la misma en la prensa no debe exceder de 30 segundos.
- Se registran o anotan los valores de la carga de rotura y los de desplazamiento vertical y deformación horizontal, si este es el caso (Nota 3).

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



NOTA 3.

Si se utiliza prensa con registro gráfico XY, se obtiene un gráfico que proporciona la carga aplicada y el desplazamiento vertical durante el ensayo.

**RESULTADOS**

La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de una probeta, se calcula con la fórmula siguiente, aproximando a la primera cifra decimal.

$$R\tau = \frac{2 * P}{\pi * h * d}$$

Donde:

Rτ = Resistencia a compresión diametral; (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima de rotura, Kg.

π = Constante 3,14 159...

h = Altura de la probeta, cm (± 0,1 mm).

d = Diámetro de la probeta, cm (± 0,1 mm).

Basándonos en la nota 2 de esta norma, hemos variado las temperaturas del ensayo, para analizar el comportamiento térmico de la mezcla, las temperaturas mencionadas fueron 0° C, 25° C, 40° C y 60° C, tanto en briquetas como en núcleos de los tres proyectos viales.

Además se ha optado por ensayar a un tiempo de saturación de 30 minutos en el caso de briquetas hechas en laboratorio, con el fin de observar la afectación que sufre la mezcla a este período, en relación a las seis horas.

---

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**8. RESULTADOS OBTENIDOS**

**8.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN BRIQUETAS:**

En el siguiente cuadro se muestran los resultados del ensayo de tracción indirecta, en briquetas hechas en laboratorio atendiendo al diseño del proyecto de recapeo de la avenida Diego de Vásquez, al Norte de la ciudad de Quito, a cargo de la constructora Menatlas, considerando diferentes temperaturas y tiempos de inmersión.

Las unidades para los siguientes cuadros son: (Carga: kg, altura: cm, RTI: kg/cm<sup>2</sup>, temperatura: °C), el diámetro es constante para todas las briquetas: 10.20 cm.

**CIA MENATLAS:**

TIEMPO	TEMPERATURAS															
	0				25				40				60			
	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI
30min	7.600	2542	6.230	25.567	2.800	942	6.175	9.56	1.13	385	6.178	3.91	0.65	225	6.23	2.26
	6.190	2072	6.120	21.214	2.730	919	6.248	9.22	0.87	299	6.110	3.07	0.33	119	6.245	1.19
	7.540	2522	6.248	25.294	2.98	489	6.212	4.93	1.15	392	6.221	3.95	0.63	219	6.268	2.19
	7.440	2489	6.233	25.022	1.770	1002	6.181	10.16	0.79	272	6.166	2.76	0.49	172	6.192	1.74
	7.810	2612	6.118	26.754	2.790	939	6.275	9.38	1.07	365	6.230	3.67	0.71	245	6.23	2.46
prom			25.7				9.38					3.841				2.306
6 h	9.030	3019	6.055	31.242	2.63	885	6.219	8.92	0.93	319	6.295	3.18	0.50	175	6.195	1.77
	8.360	2796	6.322	27.712	2.740	922	6.266	9.22	0.76	262	6.233	2.63	0.31	112	6.301	1.11
	9.350	3126	6.011	32.586	2.700	909	6.265	9.09	0.95	325	6.180	3.30	0.54	189	6.325	1.87
	9.110	3046	6.122	31.176	2.730	919	6.199	9.29	1.10	375	6.295	3.73	0.29	105	6.238	1.05
	7.990	2672	6.109	27.406	2.650	892	6.231	8.97	0.90	309	6.128	3.16	0.43	152	6.23	1.53
prom			31.7				9.10					3.341				1.724

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
 ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

De igual forma apreciamos a continuación los resultados del ensayo en cuestión, aplicado en briquetas fabricadas con la fórmula maestra de diseño de carpeta asfáltica del proyecto de ampliación de la avenida Simón Bolívar a cargo de la compañía Herdoíza Crespo.

**CIA. HERDOIZA CRESPO:**

TIEMPO	TEMPERATURAS															
	0				25				40				60			
	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI
30min	7.05	2359	6.355	23.26	3.000	1009	6.223	10.16	1.18	402	6.223	4.05	0.67	232	6.36	2.29
	6.46	2162	6.410	21.13	3.220	1082	6.403	10.59	1.25	425	6.443	4.13	0.39	139	6.299	1.38
	5.94	1989	6.295	19.80	3.190	1072	6.410	10.48	1.56	529	6.293	5.27	0.62	215	6.257	2.15
	7.45	2492	6.260	24.94	3.29	1106	6.161	11.25	1.19	405	6.395	3.97	0.60	209	6.205	2.11
	7.50	2509	6.300	24.95	3.100	1042	6.360	10.27	1.21	412	6.403	4.03	0.42	149	6.211	1.50
prom				24.39				10.37				4.05				2.18
6 horas	9.07	3032	6.288	30.22	2.52	849	6.217	8.56	0.97	332	6.140	3.39	0.47	165	6.2	1.67
	8.87	2966	6.197	29.99	2.970	999	6.293	9.95	0.81	279	6.162	2.84	0.34	122	6.215	1.23
	8.53	2852	6.375	28.03	3.050	1026	6.370	10.09	1.05	359	6.253	3.60	0.46	162	6.403	1.59
	9.30	3109	6.261	31.11	2.490	839	6.313	8.33	1.02	349	6.303	3.47	0.47	165	6.342	1.63
	9.50	3176	6.188	32.16	3.010	1012	6.368	9.96	0.93	319	6.131	3.26	0.50	175	6.36	1.72
prom				30.30				10.0				3.43				1.65

Seguidamente, los resultados del ensayo aplicado en briquetas cuyo diseño pertenece a la compañía de Técnicos Ecuatorianos Asociados T.E.A. aplicado en la carpeta de la avenida Jorge Garcés al norte de la ciudad de Quito.

**CIA. TEA:**

TIEMPO	TEMPERATURAS															
	0				25				40				60			
	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI	DIAL	Carga	Altura	RTI
30min	8.12	2716	6.538	26.03	2.470	832	6.492	8.03	1.25	425	6.455	4.13	0.68	235	6.415	2.30
	7.61	2546	6.511	24.50	2.680	902	6.317	8.95	1.22	415	6.515	3.99	0.43	152	6.431	1.48
	7.50	2509	6.543	24.03	3.080	1036	6.535	9.93	1.53	519	6.499	5.00	0.71	245	6.420	2.39
	6.62	2216	6.491	21.392	2.880	969	6.352	9.56	1.30	442	6.503	4.26	0.75	259	6.473	2.51
	8.05	2692	6.455	26.132	2.930	986	6.403	9.65	1.31	445	6.348	4.39	0.58	202	6.446	1.96
prom				25.2				9.714				4.192				2.128
6 horas	9.36	3129	6.583	29.79	2.610	879	6.421	8.58	1.08	369	6.320	3.66	0.51	179	6.432	1.74
	7.95	2659	6.522	25.55	2.910	979	6.482	9.46	1.00	342	6.473	3.31	0.71	245	6.49	2.37
	8.91	2979	6.595	28.30	2.830	952	6.370	9.36	0.88	302	6.439	2.94	0.57	199	6.523	1.91
	9.19	3072	6.588	29.218	2.900	976	6.475	9.44	0.71	245	6.391	2.40	0.58	202	6.55	1.93
	9.25	3092	6.593	29.39	2.750	925	6.496	8.92	1.00	342	6.508	3.29	0.53	185	6.52	1.78
prom				29.2				9.424				3.421				1.841

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

A continuación un cuadro que resume los tres anteriores.

<b>Cuadro de resumen tracción indirecta (briquetas) (kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
<b>T. sumergido</b>	<b>Temp.( °C )</b>	<b>Menatlas</b>	<b>H. C.</b>	<b>TEA</b>	<b>PROM</b>
<b>30 min</b>	0	25.7	24.4	25.2	25.07
	25	9.384	10.37	9.714	9.82
	40	3.841	4.045	4.192	4.03
	60	2.306	2.183	2.128	2.21
<b>6 horas</b>	0	31.7	30.3	29.2	30.38
	25	9.097	10.00	9.424	9.51
	40	3.341	3.429	3.421	3.40
	60	1.724	1.652	1.841	1.74

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**8.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN NÚCLEOS**

Todos los ensayos en núcleos fueron realizados luego de exponer a los testigos a seis horas de inmersión, considerando o simulando condiciones atmosféricas adversas en vía.

**TEMPERATURA DE ENSAYO: 0 ° C**

PROYECTO	ALTURAS (cm)				PROM	DIAMETROS (cm)		PROM	DIAL	Carga (kg)	RTI (kg/cm <sup>2</sup> )
MENATLAS	4.96	4.81	4.72	4.53	4.755	9.45	9.42	9.435	5.170	1732.0	24.58
	4.61	4.67	4.78	4.81	4.7175	9.43	9.44	9.435	4.910	1646.0	23.54
	4.88	4.69	4.72	4.92	4.8025	9.44	9.45	9.445	5.760	1929.0	27.07
	4.01	4.33	4.24	4.22	4.2	9.43	9.45	9.44	5.010	1679.0	26.96
	4.02	4.03	3.93	3.9	3.97	9.41	9.42	9.415	4.400	1476.0	25.14
	promedio										25.46
HERDOIZA CRESPO	6.32	6.37	6.33	6.33	6.3375	9.46	9.48	9.47	6.780	2269.0	24.07
	7.31	7.24	7.08	7.08	7.1775	9.45	9.43	9.44	6.080	2036.0	19.13
	7.01	6.93	6.99	6.9	6.9575	9.44	9.43	9.435	7.83	2619	25.40
	6.89	6.85	6.88	6.87	6.8725	9.42	9.43	9.425	6.050	2026.0	19.91
	6.72	6.72	6.89	6.82	6.7875	9.45	9.42	9.435	6.430	2152.0	21.39
	promedio										21.98
TEA	4.95	5.07	5.07	4.81	4.975	9.42	9.42	9.42	4.790	1606.0	21.82
	5.01	4.82	4.73	5.01	4.8925	9.45	9.43	9.44	4.250	1426.0	19.66
	5.22	5.19	5.17	5.2	5.195	9.45	9.45	9.45	429	1439	18.66
	4.89	4.93	4.95	4.93	4.925	9.44	9.43	9.435	505	1726.0	23.65
	4.95	4.31	4.02	4.34	4.405	9.32	9.36	9.34	4.210	1412.0	21.85
	promedio										21.13

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

**TEMPERATURA DE ENSAYO: 5 ° C**

PROYECTO	ALTURAS (cm)				PROM	DIAMETROS (cm)			PROM	DIAL	Carga (kg)	RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	densidad	densidad	%Comp.
													real	100%C	
MENATLAS	4.58	4.61	4.7	4.53	4.61	9.42	9.42	9.42	451	1512	22.19	2.202	2.245	98.1	
	4.86	5.03	4.77	4.81	4.87	9.45	9.44	9.45	485	1626	22.52	2.213		98.6	
	3.96	4.31	4.31	4.05	4.16	9.41	9.44	9.43	376	1262	20.50	2.179		97.1	
	4.56	4.22	4.61	4.22	4.40	9.43	9.45	9.44	386	1296	19.85	2.172		96.7	
	5.24	4.88	4.75	5.12	5.00	9.43	9.42	9.43	454	1522	20.57	2.184		97.3	
	promedio											21.13		2.19	97.6
HERDOIZA CRESCO	6.45	6.87	6.77	6.63	6.68	9.46	9.46	9.46	625	2092	21.08	2.117	2.149	98.5	
	7.04	7.13	7.28	7.33	7.20	9.44	9.43	9.44	603	2019	18.93	2.084		97.0	
	6.92	6.71	7.05	7.1	6.95	9.44	9.43	9.44	582	1949	18.94	2.082		96.9	
	6.66	6.91	6.88	6.87	6.83	9.45	9.43	9.44	592	1982	19.57	2.101		97.8	
	6.99	7.23	7.47	7.02	7.18	9.42	9.42	9.42	581	1946	18.32	2.075		96.6	
	promedio											19.37		2.09	97.3
TEA	4.77	4.23	4.98	4.81	4.70	9.44	9.42	9.43	421	1412	20.29	2.299	2.332	98.6	
	4.59	4.82	5.06	5.06	4.88	9.45	9.45	9.45	401	1346	18.57	2.272		97.4	
	5.13	5.24	5.33	5.62	5.33	9.42	9.45	9.44	421	1346	17.04	2.257		96.8	
	5.19	5.29	4.96	4.93	5.09	9.45	9.43	9.44	421	1412	18.70	2.277		97.6	
	4.81	5.02	5.13	4.92	4.97	9.4	9.41	9.41	376	1262	17.19	2.255		96.7	
	promedio											18.36		2.27	97.4

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**TEMPERATURA DE ENSAYO: 25° C**

PROYECTO	ALTURAS (cm)				PROM	DIAMETROS (cm)		PROM	DIAL	Carga (kg)	RTI (kg/cm2)
MENATLAS	4.24	4.31	4.33	4.27	4.2875	9.44	9.42	9.43	1.71	579	9.12
	3.83	3.97	4.41	4.49	4.175	9.43	9.44	9.435	1.61	545.00	8.81
	5.01	4.99	4.9	4.82	4.93	9.4	9.44	9.42	1.92	649.00	8.90
	4.99	5.07	4.98	5.01	5.0125	9.43	9.45	9.44	1.83	619.00	8.33
	3.97	4.02	4.14	4.31	4.11	9.44	9.46	9.45	1.61	545.00	8.93
	promedio										8.82
HERDOIZA CRESPO	7.09	6.91	6.9	6.99	6.9725	9.45	9.45	9.45	2.26	762.00	7.36
	6.98	6.87	6.91	6.87	6.9075	9.43	9.44	9.435	2.28	769.00	7.51
	7.02	7.02	7.03	7.04	7.0275	9.43	9.45	9.44	2.19	739.00	7.09
	7.26	7.31	7.46	7.36	7.3475	9.45	9.45	9.45	2.11	712.00	6.53
	7.01	7.13	7.15	7.09	7.095	9.42	9.43	9.425	1.97	665	6.33
	promedio										6.96
TEA	3.94	4.02	4.44	4.37	4.1925	9.4	9.38	9.39	1.71	579.00	9.36
	4.76	4.65	4.59	4.68	4.67	9.41	9.43	9.42	1.89	639.00	9.25
	4.99	4.89	4.93	5.01	4.955	9.44	9.45	9.445	1.59	539.00	7.33
	4.44	4.36	4.36	4.48	4.41	9.44	9.43	9.435	1.57	532.00	8.14
	4.47	5.04	4.75	5.03	4.8225	9.4	9.41	9.405	1.49	505.00	7.09
	promedio										8.23

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

**TEMPERATURA DE ENSAYO: 40 ° C**

PROYECTO	ALTURAS (cm)				PROM	DIAMETROS (cm)		PROM	DIAL	Carga (kg)	RTI (kg/cm <sup>2</sup> )
MENATLAS	4.34	4.36	4.42	4.37	4.3725	9.44	9.48	9.46	0.610	212.00	3.26
	5.92	5.43	5.86	5.03	5.56	9.46	9.45	9.455	0.710	245.00	2.97
	5.23	5.14	5.18	5.2	5.1875	9.45	9.44	9.445	0.710	245.00	3.18
	4.99	4.87	4.95	4.87	4.92	9.44	9.44	9.44	0.590	205.00	2.81
	4.81	4.71	5.06	5.12	4.925	9.42	9.45	9.435	0.630	219.00	3.00
	promedio										3.04
HERDOIZA CRESPO	7.08	7.24	7.26	7.08	7.165	9.45	9.45	9.45	0.990	339.00	3.19
	6.58	6.66	6.69	6.72	6.6625	9.44	9.42	9.43	0.930	319.00	3.23
	6.98	6.96	6.96	7.07	6.9925	9.43	9.43	9.43	0.870	299.00	2.89
	7.01	7.21	7.16	7.2	7.145	9.41	9.44	9.425	0.840	289.00	2.73
	6.51	6.48	6.54	6.51	6.51	9.46	9.47	9.465	0.710	245.00	2.53
	promedio										2.91
TEA	4.43	4.49	4.45	4.96	4.5825	9.42	9.41	9.415	0.540	189.00	2.79
	4.67	4.71	4.61	4.62	4.6525	9.41	9.39	9.4	0.550	192.00	2.79
	5.01	4.9	4.81	4.85	4.8925	9.43	9.44	9.435	0.650	225.00	3.10
	3.37	3.37	3.42	3.37	3.3825	9.42	9.43	9.425	0.380	135.00	2.70
	4.97	4.85	4.79	4.86	4.8675	9.44	9.44	9.44	0.640	222.00	3.08
	promedio										2.89

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO

ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**TEMPERATURA DE ENSAYO: 60 ° C**

PROYECTO	ALTURAS (cm)				PROM	DIAMETROS (cm)		PROM	DIAL	Carga (kg)	RTI (kg/cm <sup>2</sup> )
MENATLAS	4.9	4.85	4.89	4.83	4.8675	9.45	9.43	9.44	0.270	99.00	1.37
	4.81	4.87	4.99	4.82	4.8725	9.43	9.43	9.43	0.290	105.00	1.45
	4.14	4.49	4.57	4.55	4.4375	9.44	9.46	9.45	0.250	92.00	1.40
	4.77	4.82	4.87	4.66	4.78	9.43	9.45	9.44	0.250	92.00	1.30
	3.68	3.92	4.02	4.05	3.9175	9.44	9.43	9.435	0.220	82.00	1.41
	promedio										1.39
HERDOIZA CRESPO	7.29	7.32	7.5	7.38	7.3725	9.38	9.42	9.4	0.250	92.00	0.85
	6.85	7.07	6.92	6.85	6.9225	9.46	9.47	9.465	0.240	89.00	0.86
	5.98	6.09	6.13	6.25	6.1125	9.45	9.45	9.45	0.250	92.00	1.01
	6.32	6.41	6.48	6.33	6.385	9.45	9.44	9.445	0.190	72.00	0.76
	5.99	5.98	6	6.06	6.0075	9.45	9.42	9.435	0.240	89.00	1.00
	promedio										0.90
TEA	4.77	4.77	4.48	4.77	4.6975	9.43	9.42	9.425	0.270	99.00	1.42
	4.33	4.41	4.49	4.51	4.435	9.44	9.45	9.445	0.280	102.00	1.55
	4.71	4.55	4.63	4.42	4.5775	9.45	9.43	9.44	0.190	72.00	1.06
	3.78	3.87	4.31	4.26	4.055	9.35	9.43	9.39	0.210	79.00	1.32
	4.7	4.42	4.52	4.77	4.6025	9.39	9.43	9.41	0.210	79.00	1.16
	promedio										1.30

AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### CUADRO COMPARATIVO DE TRACCIÓN INDIRECTA

TRACCIÓN INDIRECTA						
T °C	OBRA			LABORATORIO		
	MEN	HC	TEA	MEN	HC	TEA
0	25.46	21.98	21.13	31.7	30.3	29.2
25	8.82	6.96	8.23	9.1	10.0	9.4
40	3.04	2.91	2.89	3.3	3.4	3.4
60	1.39	0.90	1.30	1.72	1.65	1.84

### 8.3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Con el fin de contar con una mejor visualización e interpretación de los datos obtenidos en briquetas y núcleos, se han elaborado gráficas que se muestran a continuación.

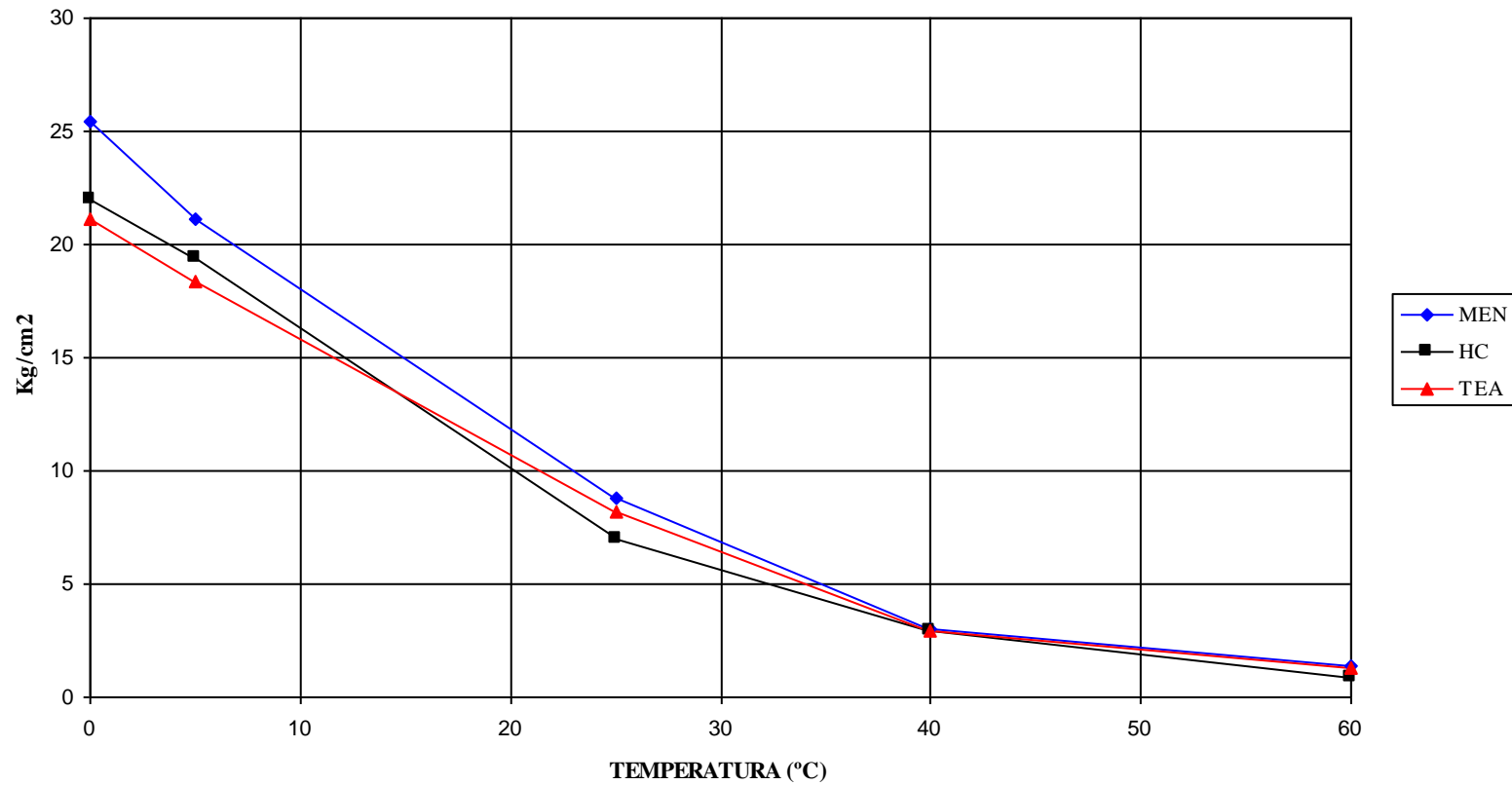
AUTORES:

VICTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### 8.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

TRACCIÓN INDIRECTA VS TEMPERATURA EN NÚCLEOS

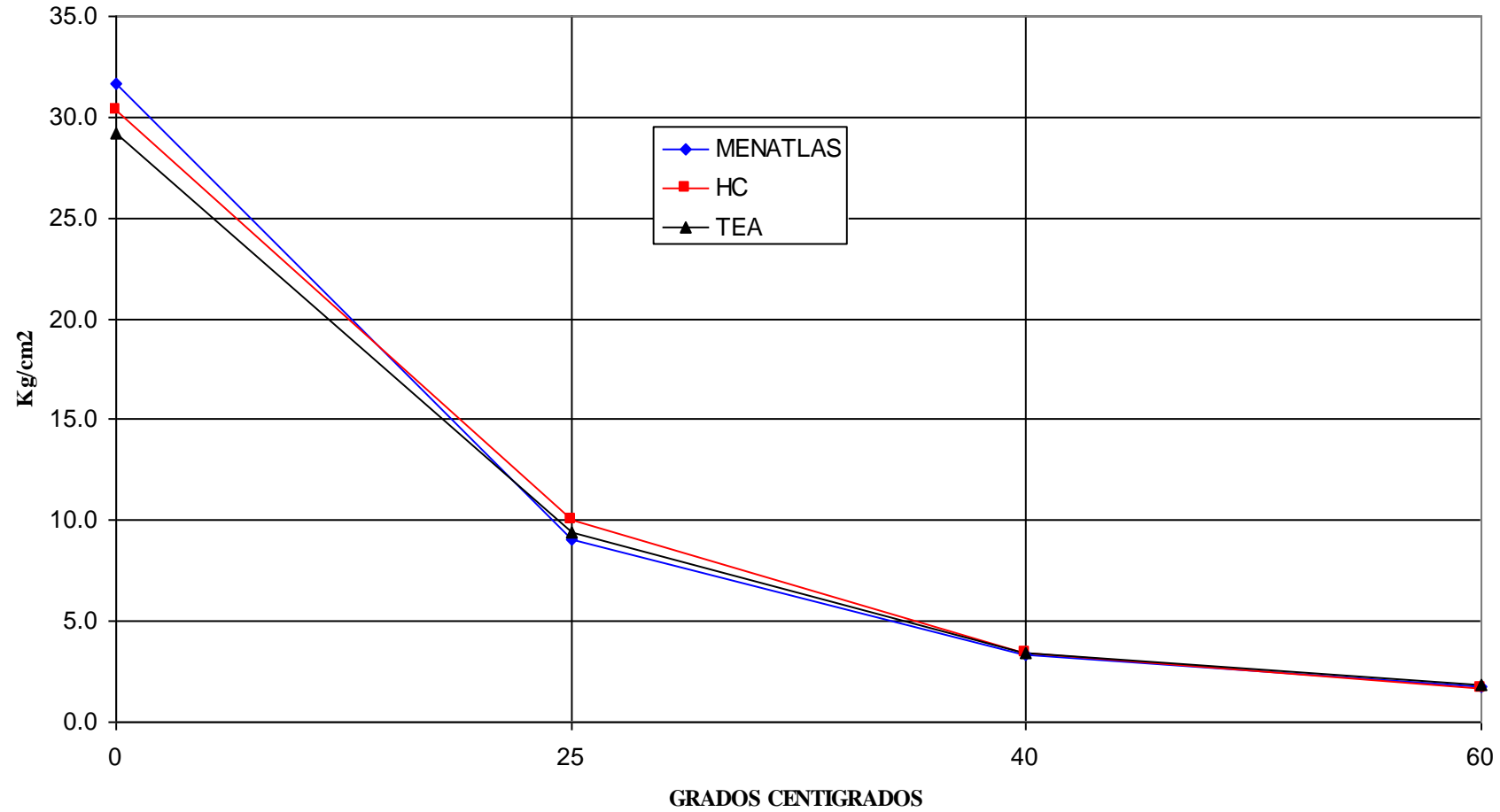


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



TRACCION INDIRECTA VS TEMPERTURA EN BRIQUETAS

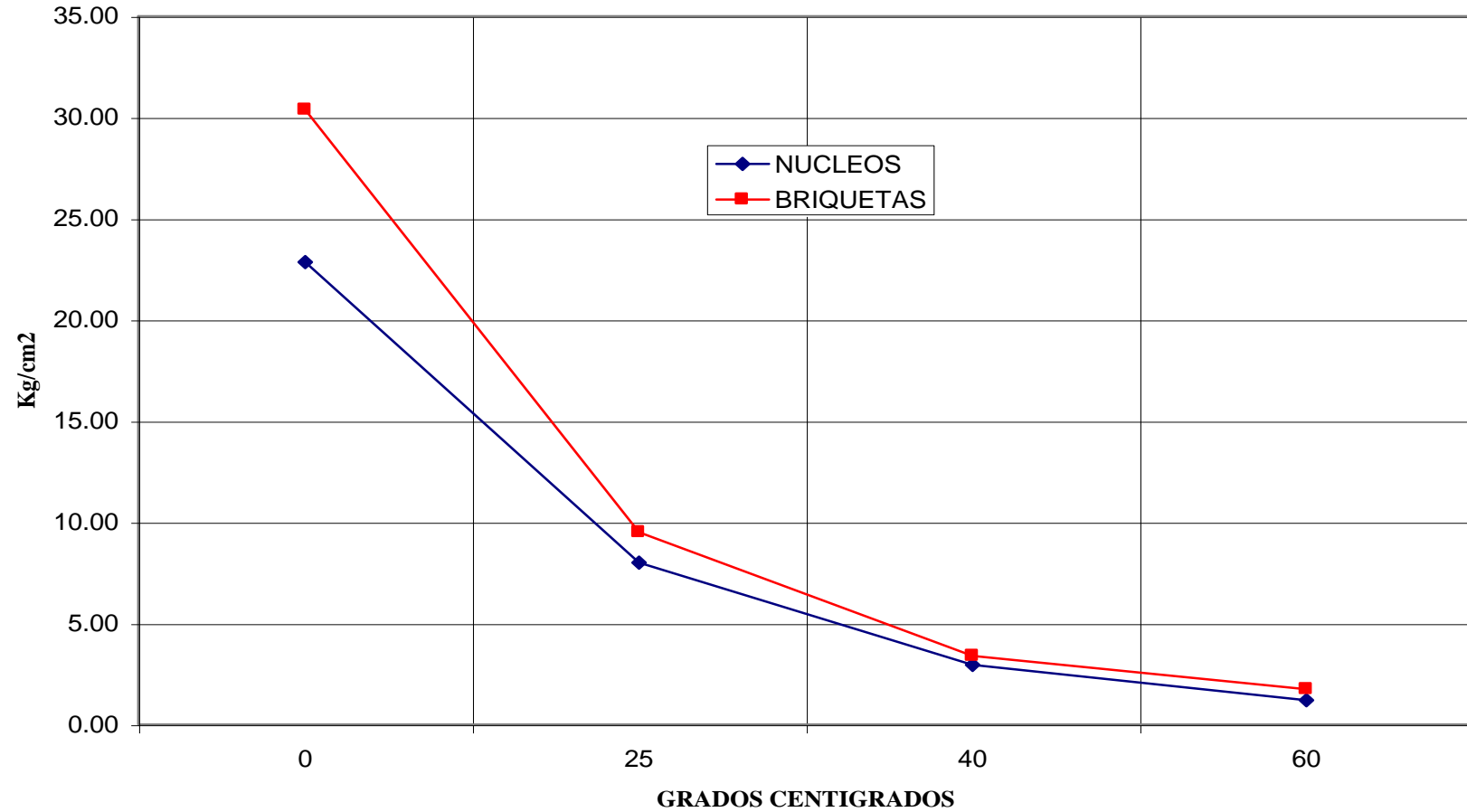


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



### TRACCION INDIRECTA VS TEMPERATURA EN NUCLEOS Y BRIQUETAS



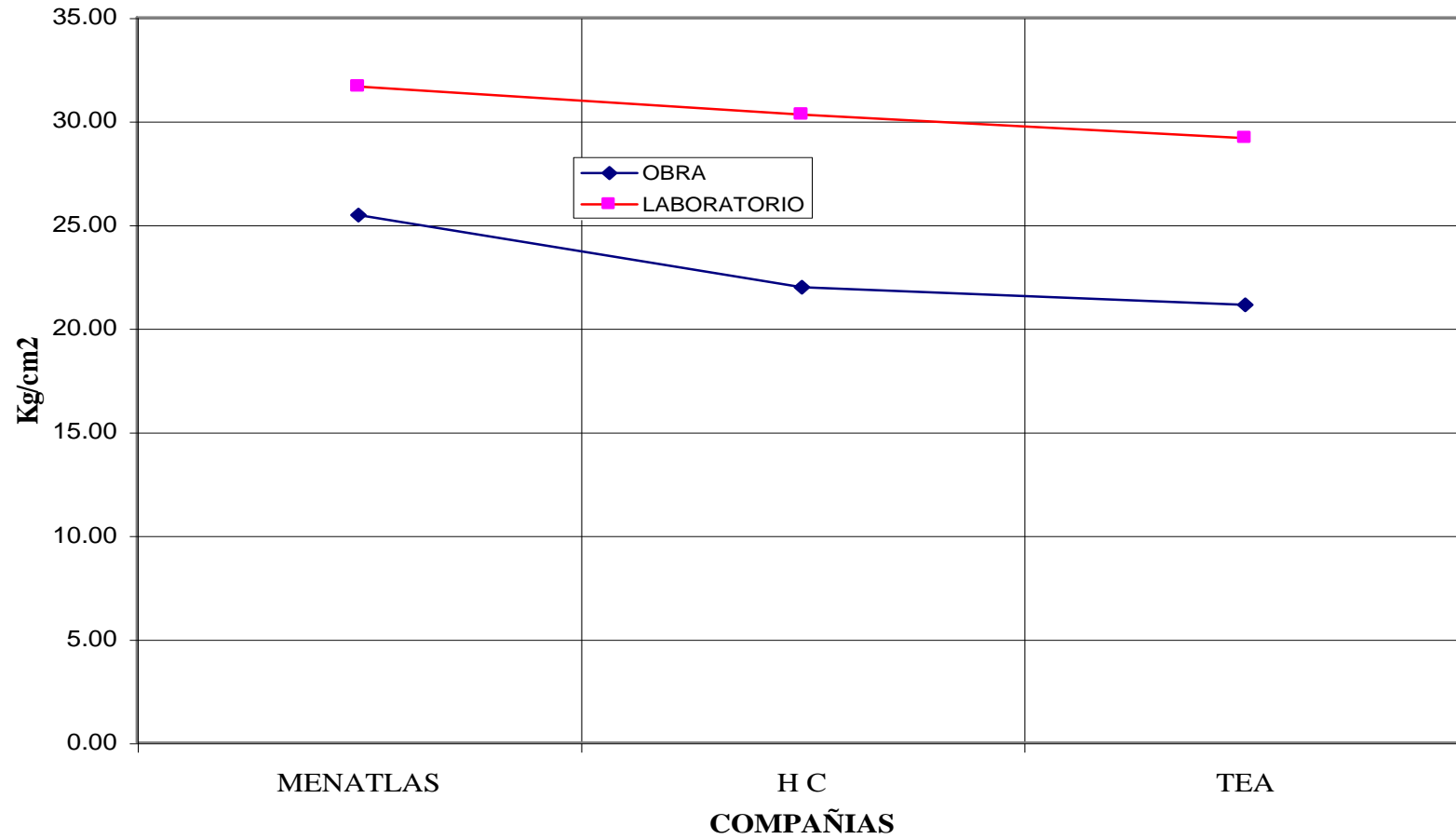
AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





TRACCION INDIRECTA VS COMPAÑIAS A 0°C

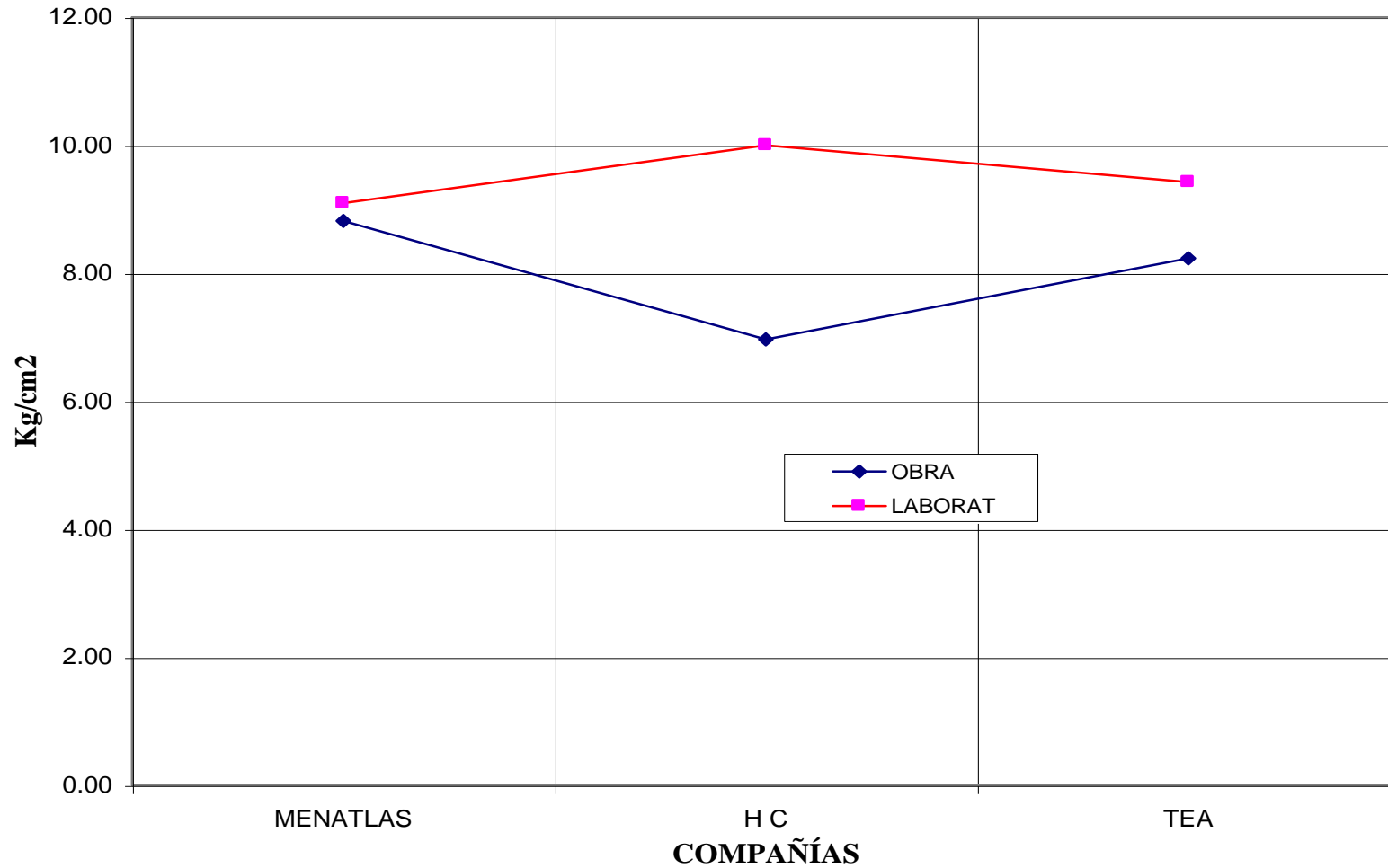


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



TRACCION INDIRECTA VS COMPAÑIAS A 25°C

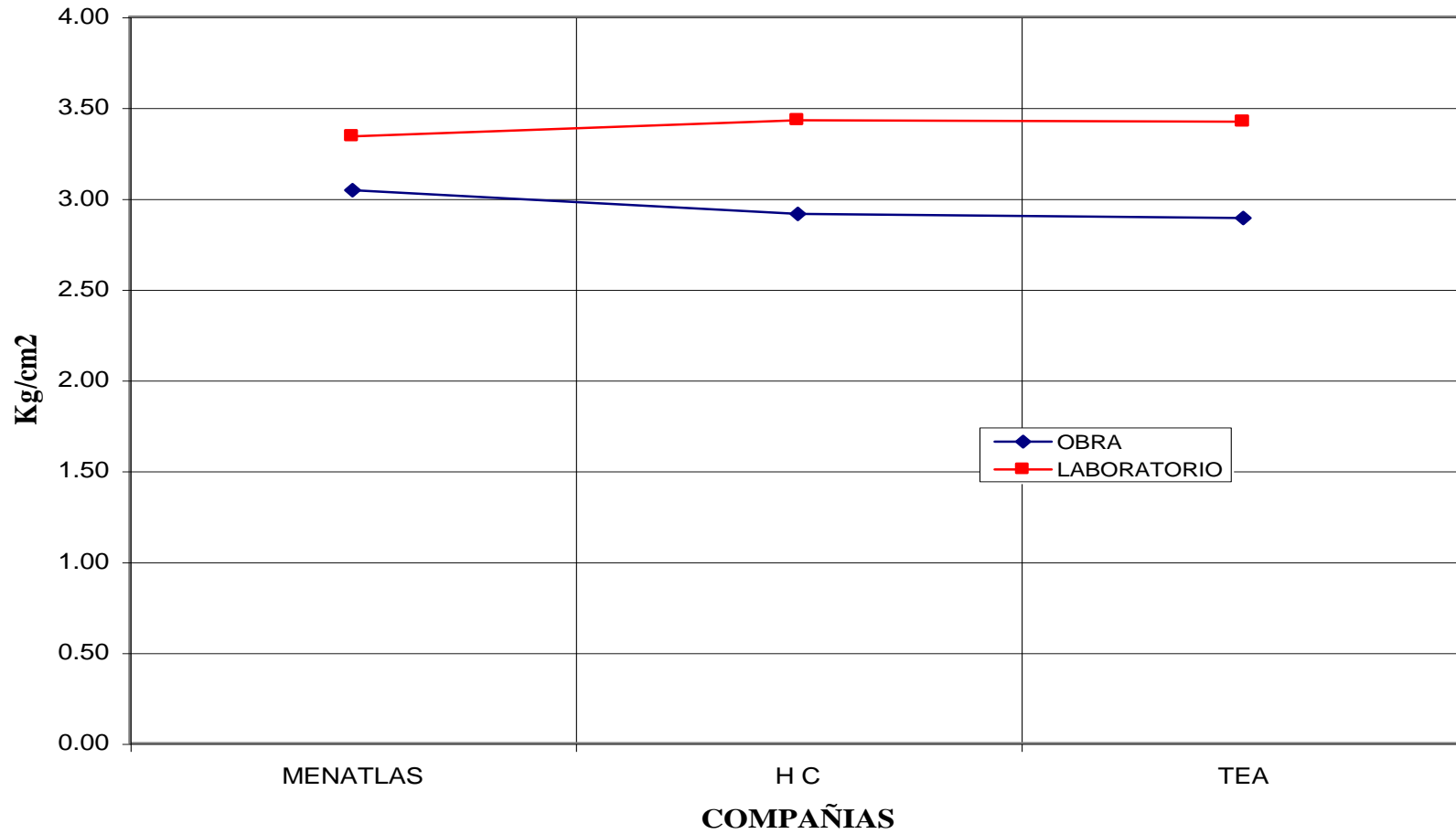


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



TRACCION INDIRECTA VS COMPAÑIAS A 40°C

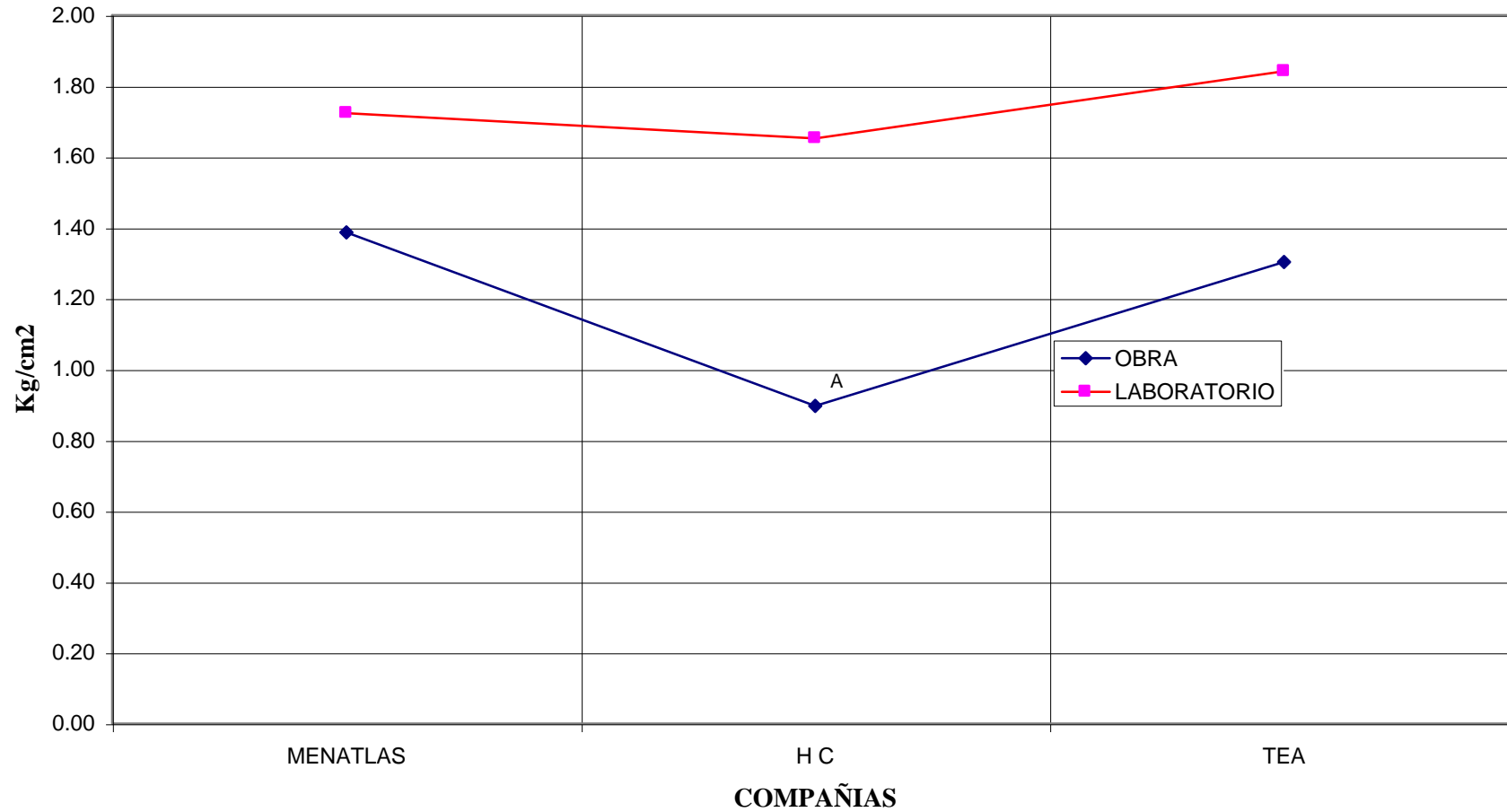


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



TRACCION INDIRECTA VS COMPAÑIAS A 60°C

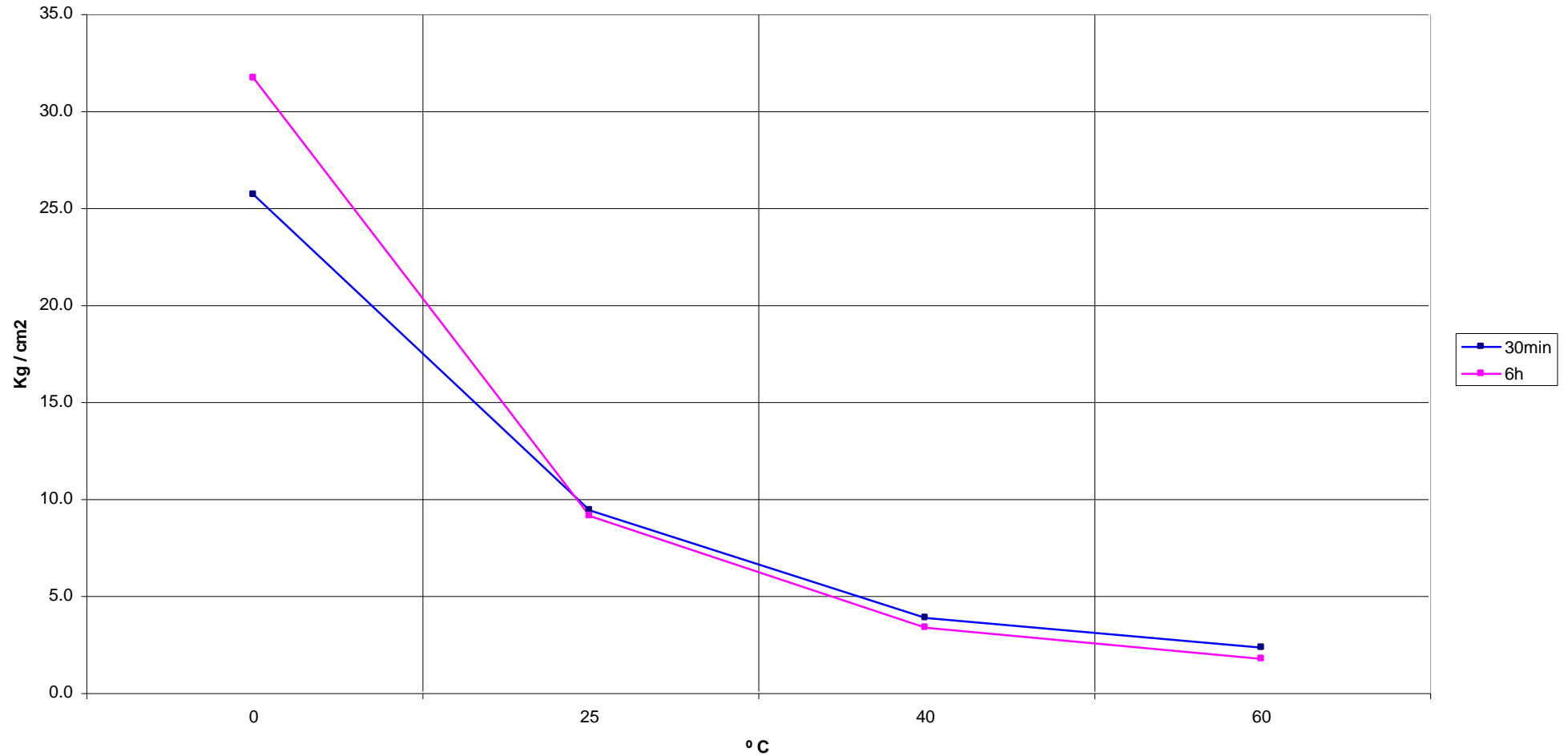


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



**SENSIBILIDAD DEL ENSAYO AL TIEMPO DE INMERSIÓN EN BRIQUETAS (MENATLAS)**

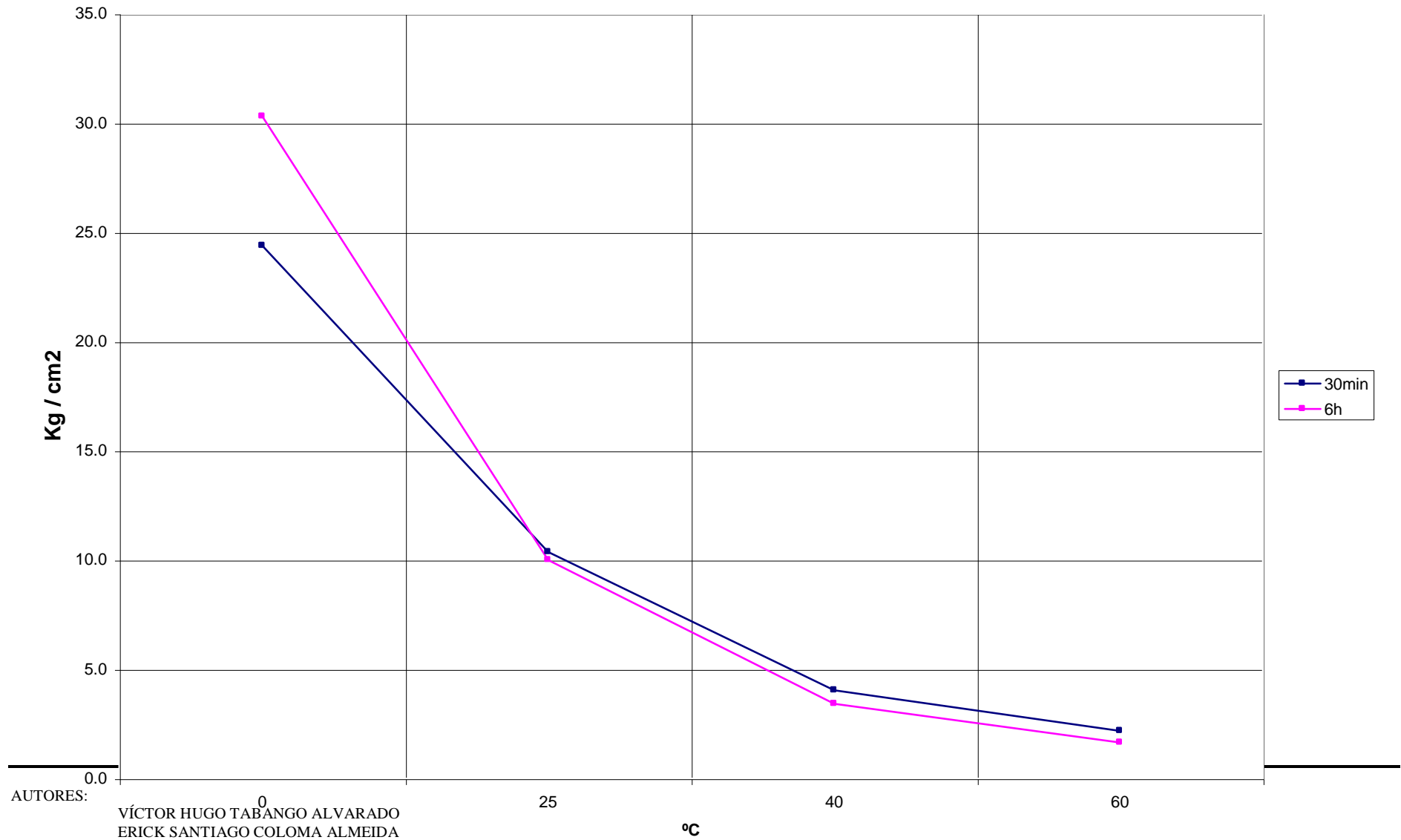


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

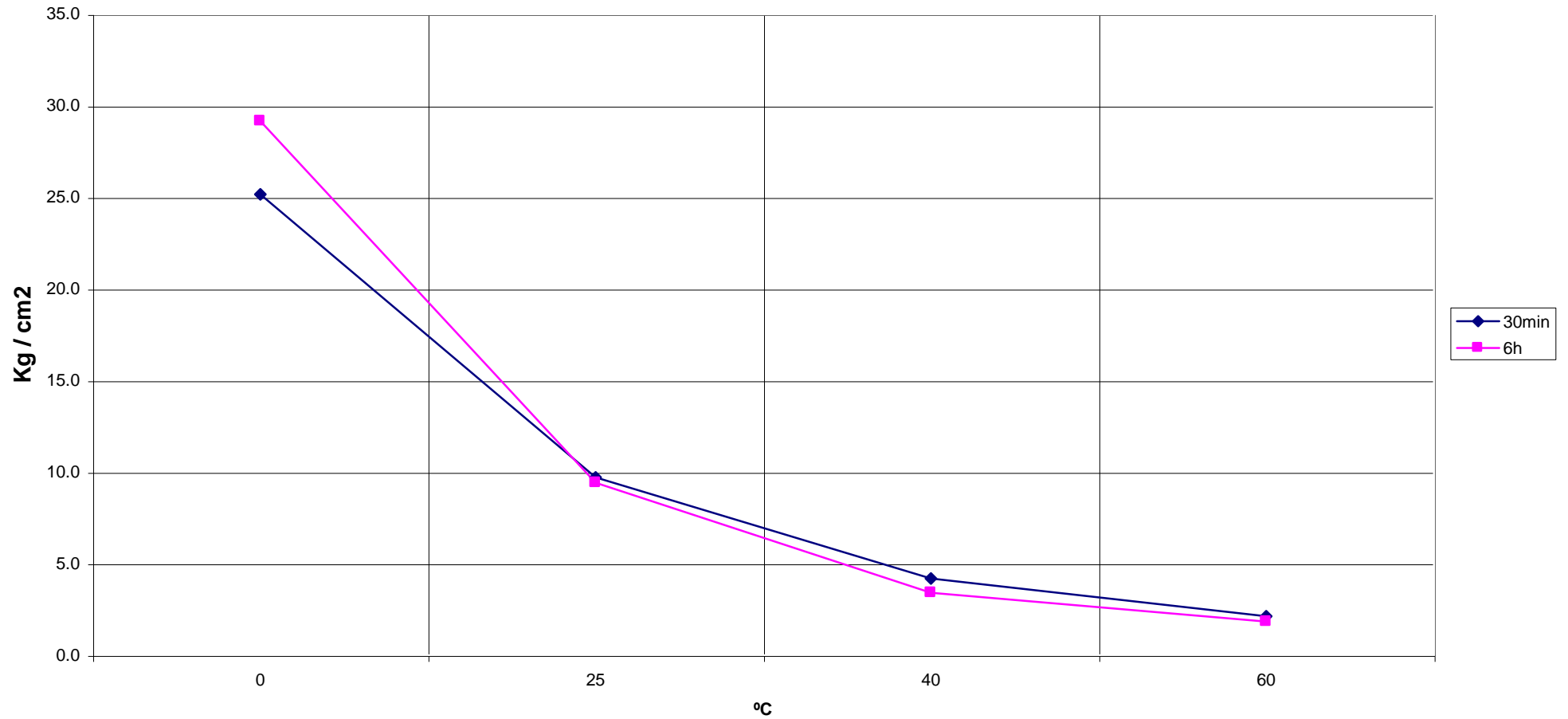


**SENSIBILIDAD DEL ENSAYO AL TIEMPO DE INMERSIÓN EN BRIQUETAS (HERDOIZA CRESPO)**





### SENSIBILIDAD AL TIEMPO DE INMERSIÓN EN BRIQUETAS (TEA)



AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



#### **8.4. DETERMINACIÓN DE TOLERANCIAS**

Hemos elaborado curvas tomando en cuenta los resultados de la resistencia a tracción indirecta en los núcleos extraídos de los tres proyectos analizados, con el fin de establecer tolerancias mínimas a exigir para cada temperatura, para efectos de control de calidad.

---

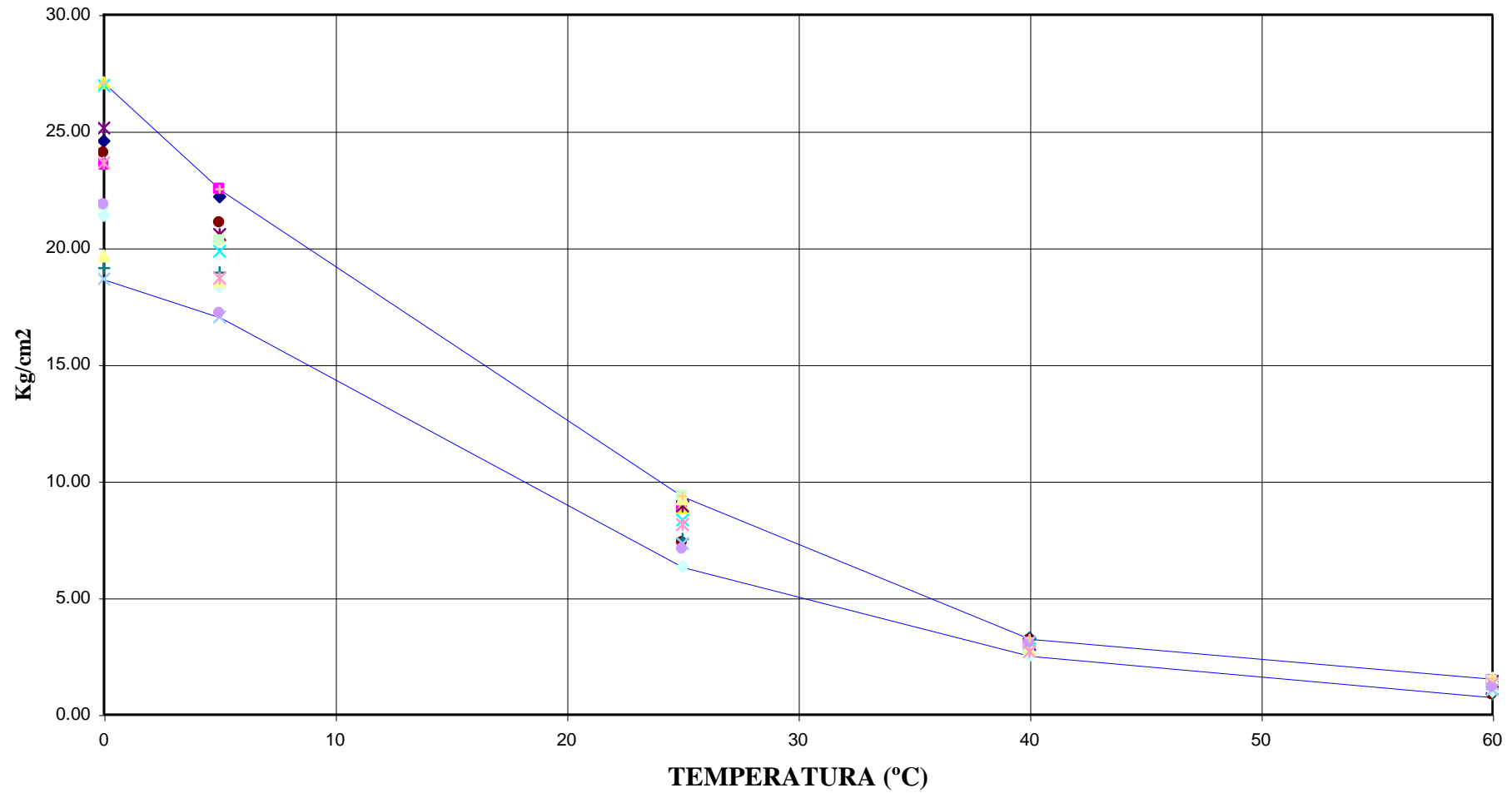
AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





### RESULTADOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA EN NÚCLEOS



AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



## 8.5. OTROS PROYECTOS ANALIZADOS

Con el fin de corroborar y probar la curva de tolerancia, tomamos datos de resistencia a tracción indirecta en testigos extraídos en los siguientes proyectos viales a diferentes temperaturas:

Vía Portoviejo Tosagua tramo Portoviejo – Mejía, en una longitud de 6.6 Km, (datos proporcionados por Ing. Milton Torres). Vía Pasaje- San Francisco, abscisas 136+500 - 999+800 (datos proporcionados por Ing. Milton Torres). Vía OÑA – LOJA (Tramo III) (abscisas 70+000 – 86 + 000) fuente: Tesis Universidad Técnica de Loja.

A continuación mostramos los resultados antes mencionados.



---

RECONSTRUCCIÓN DE LA VÍA PORTOVIEJO – ROCAFUERTE – TOSAGUA

---

Tramo: Portoviejo – Mejía.

Fiscalización: ASESORÍA Y ESTUDIOS TÉCNICOS CIA. LTDA.

Temperatura del ensayo = 25° C

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA						
ABSCISAS	CALZADA	DIAL	F (kg)	h (cm)	D (cm)	RTI (Kg/cm <sup>2</sup> )
3+700	derecha	215	745	5.1	9.99	9.31
4+000	derecha	190	658	5	10	8.38
4+300	derecha	205	710	4.7	9.98	9.64
4+600	derecha	190	658	5	9.99	8.39
4+900	derecha	230	797	5.1	9.9	10.05
5+200	derecha	130	450	4.5	10	6.37
5+500	derecha	205	710	4.9	10	9.22
5+680	derecha	260	901	5.6	10	10.24
6+100	derecha	240	831	5.4	9.99	9.81
6+300	izquierda	180	623	4.9	9.98	8.11
6+380	derecha	220	762	5.2	9.99	9.34
				promedio		<b>8.99</b>

---

AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Temperatura del ensayo: 5° C

CALZADA	DIAL	F (Kg.)	h (cm)	D (cm)	RTI (Kg/cm <sup>2</sup> )
derecha	680	2355.27	7.10	10.1	20.91
derecha	600	2078.18	7.00	10.1	18.71
derecha	700	2424.55	7.30	10.1	20.93
derecha	780	2701.64	7.50	10.1	22.71
derecha	560	1939.64	7.10	10	17.39
derecha	680	2355.27	7.00	10.1	21.21
derecha	500	2078.18	6.80	10.1	19.26
derecha	660	2286	6.90	10.1	20.88
derecha	780	2701.64	6.90	10.1	24.68
izquierda	600	2078.18	6.80	10	19.46
derecha	730	2528.45	7.10	10.1	22.45
derecha	760	2632.36	7.00	10.1	23.70
derecha	700	2424.55	7.50	10.1	20.38
derecha	680	2355.27	7.70	10.1	19.28
			promedio		<b>20.85</b>

VÍA PASAJE-SAN FRANCISCO

Temperatura del ensayo 25 ° C

Abscisa	Espesor	Diámetro de la	Lectura dial	Carga (F)	TI=
	promedio	muestra (cm.)	de carga	calculada	$2*F/(\pi*D*h)$
	(cm)			(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
136+500	6.6	10.1	111	491.64	4.7
137+500	6.6	10.1	128	564.13	5.39
138+500	7.35	10.1	139	611.03	5.24
136+500	5.89	10.1	131	576.92	6.17
137+500	5.37	10.1	81	363.73	4.27
138+500	6.12	10.1	118	521.49	5.37
				promedio	<b>5.19</b>

Temperatura del ensayo: 10 ° C

Abscisa	Espesor	Diámetro de la	Lectura dial	Carga (F)	TI=
	promedio	muestra (cm.)	de carga	calculada	$2*F/(\pi*D*h)$
	(cm)			(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
136+500	6.6	10.1	237	1028.89	9.83
137+500	7.7	10.1	450	1937.09	15.86
138+500	7.4	10.1	305	1318.83	11.23
136+500	5.7	10.1	307	1327.36	14.68
137+500	5.53	10.1	260	1126.96	12.85
138+500	6.3	10.1	294	1271.93	12.73
				promedio	<b>12.86</b>

AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Temperatura del ensayo: 3 ° C

Abscisa	Espesor	Diámetro	Lectura dial	Carga (F)	TI=
	promedio	muestra (cm.)	de carga	calculada	$2 \cdot F / (\pi \cdot D \cdot h)$
	(cm)			(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
105+200	6.18	10.16	345	1459.38	14.80
104+300	8.33	10.16	420	1809.17	13.61
103+800	7.58	10.16	365	1574.86	13.02
100+520	8.23	10.18	410	1765.53	13.44
100+200	8.58	10.16	395	1702.58	16.21
			promedio		14.21

Temperatura del ensayo: 8 ° C

Abscisa	Espesor	Diámetro	Lectura dial	Carga (F)	TI=
	promedio	muestra (cm.)	de carga	calculada	$2 \cdot F / (\pi \cdot D \cdot h)$
	(cm)			(Kg)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
103+300	8.34	10.16	380	1510.7	11.35
101+990	9.41	10.16	420	1809.17	12.05
100+880	8.3	10.16	410	2022.37	15.27
100+000	8.27	10.18	290	1212.23	12.11
999+800	8.01	10.16	380	1553.34	15.26
			promedio		13.21

---

AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA

VÍA OÑA – LOJA (Tramo III)

Fuente: Universidad Técnica de Loja, Tesis: “EVALUACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA”

## DATOS OBTENIDOS EN VÍA

ABSCISAS	R T I (kg / cm <sup>2</sup> )	ABSCISAS	R T I (kg / cm <sup>2</sup> )
70+000	20	87+000	20
71+000	18.5	88+000	21
72+000	20	89+000	24
73+000	19	90+000	12
74+000	24	91+000	8.5
75+000	21.5	92+000	22
76+000	19	93+000	18
77+000	21	94+000	18.5
78+000	23	95+000	20.5
79+000	17	96+000	21
80+000	19	97+000	19
81+000	20	98+000	20
82+000	18	99+000	20.5
83+000	22	100+000	17
84+000	13.5	101+500	27
85+000	23	102+500	19
86+000	21	103+500	21

A continuación se puede ver las gráficas relacionadas a los proyectos que nos sirven de referencia para verificar la curva de control propuesta

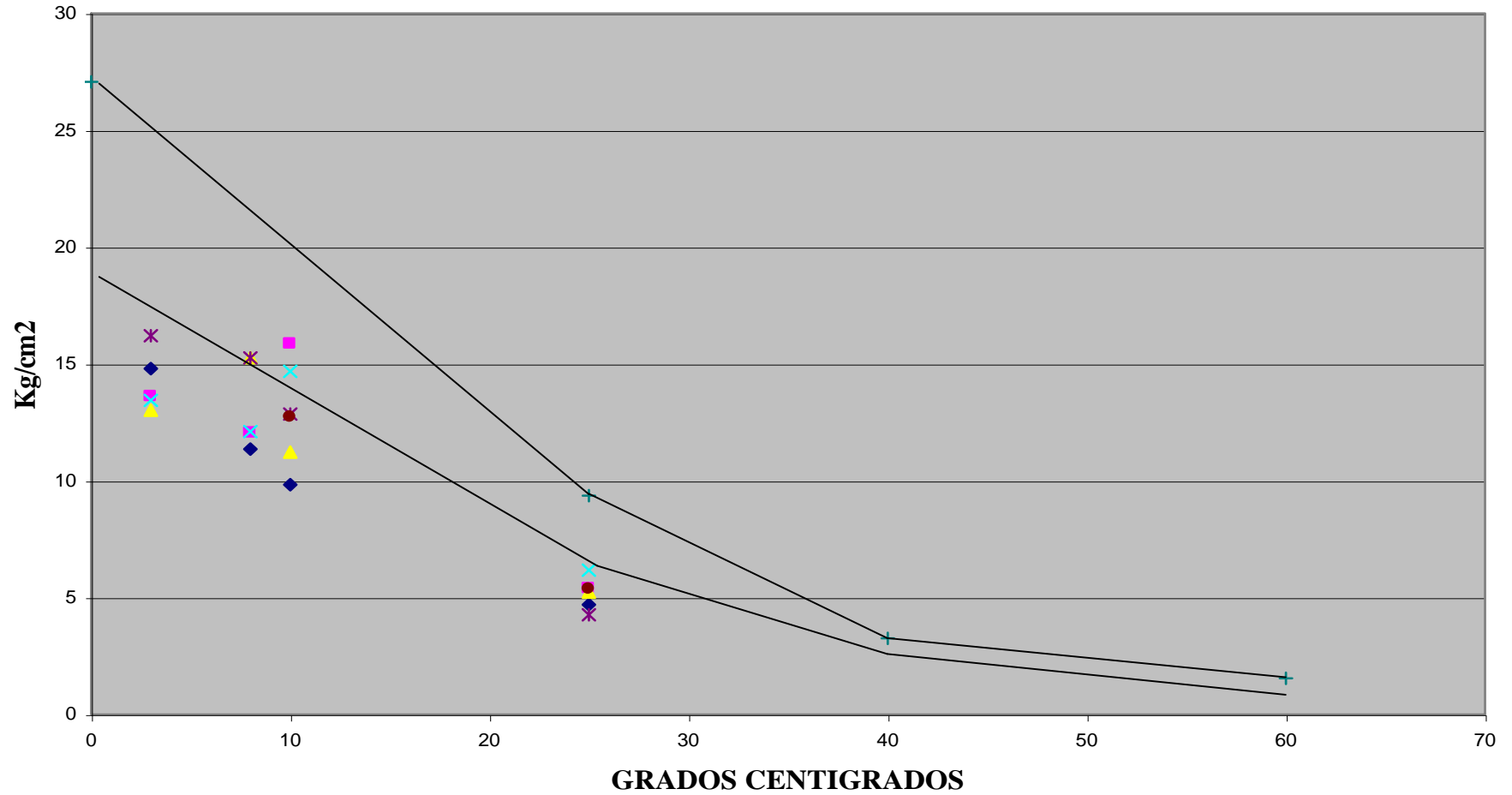
---

AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



T.I. (5°C,8°C,10°C,25°C) PROYECTO PASAJE - SAN FRANCISCO



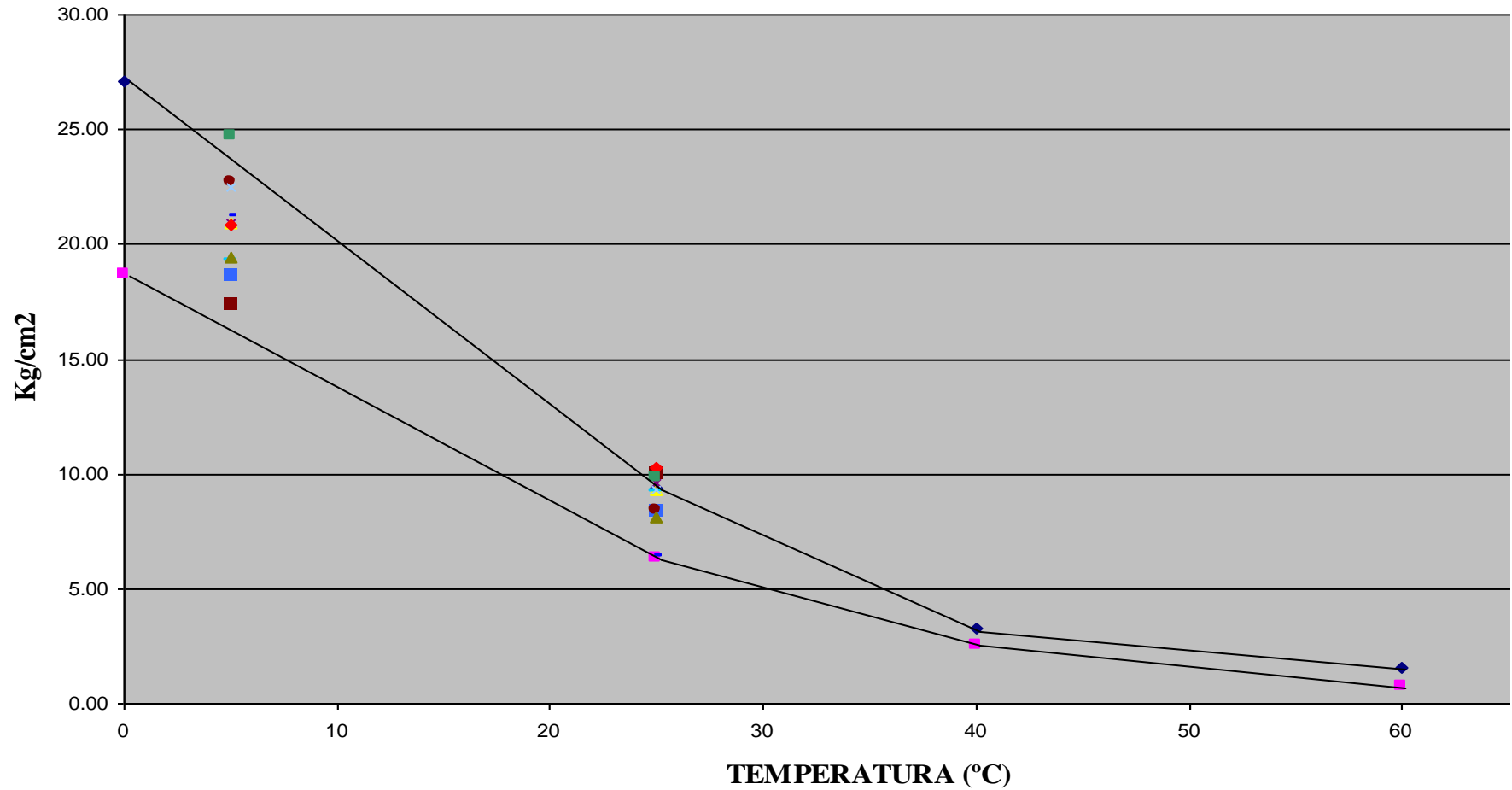
AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA





T.I.(5°C,25°C)PROYECTO PORTOVIEJO - MEJIA

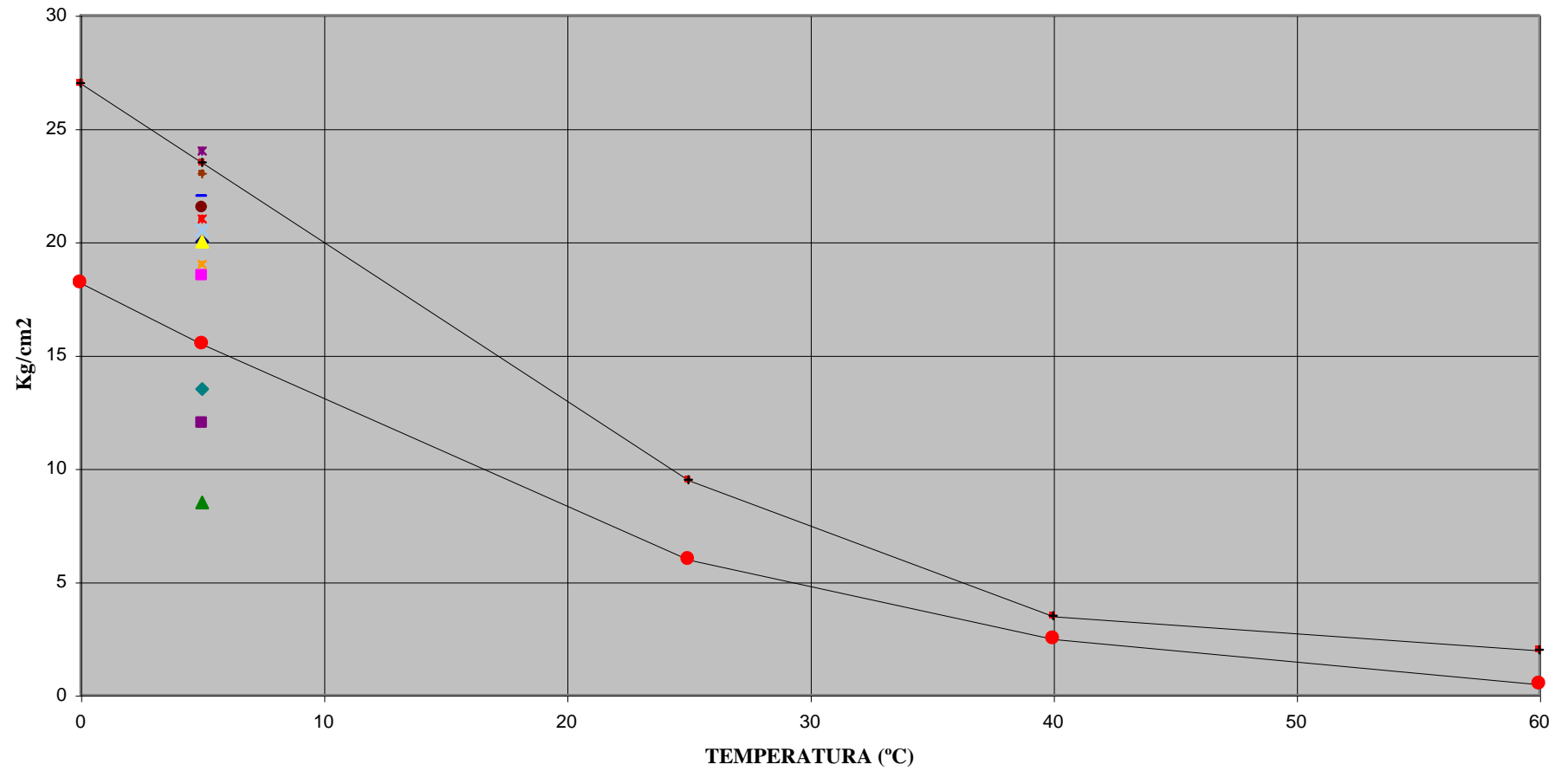


AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



T. I. A 5°C VIA OÑA-LOJA (TRAMO III)



AUTORES:

VÍCTOR HUGO TABANGO ALVARADO  
ERICK SANTIAGO COLOMA ALMEIDA



Se puede entonces comprobar que la curva de cumplimiento mínimo propuesta, al comparar resultados de tres proyectos, revela claramente valores favorables de dos de ellos (vía Oña –Loja y Portoviejo- Mejía), en contraposición del proyecto Pasaje- San Francisco, con resultados notoriamente menores.

## 8.6. ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS PROYECTOS ESTUDIADOS

Un objetivo importante en nuestra investigación es la comprobación de resultados de estudios extranjeros de tracción indirecta con datos obtenidos en el país, empleando lógicamente, materiales y procedimientos locales.

Estudios realizados en España y Argentina, proponen un factor de calidad que evalúa esencialmente el proceso constructivo de una carpeta asfáltica, es decir que en función del mismo se puede aseverar que una mezcla asfáltica colocada tiene en mayor o menor grado las características mecánicas establecidas en planta o laboratorio, mientras menor sea el factor en mención mejor habrá sido el proceso constructivo.

$$FC=[Rp -(100-\%C)*b]-Rt$$

Siendo:

FC: factor de calidad

Rp: resistencia media de las briquetas

C: porcentaje de compactación.

b: pendiente de la correlación obtenida para los testigos entre la resistencia a tracción indirecta y la compactación

Rt: resistencia media de los testigos

El estudio fue realizado en testigos ensayados a 5°C, y establece una diferencia tolerable de 4 Kg/cm<sup>2</sup> entre la resistencia a tracción de testigos y el valor dentro del corchete.

Los valores de resistencia a tracción indirecta en briquetas y núcleos a 5°C que a continuación se muestran se obtienen de las graficas respectivas.

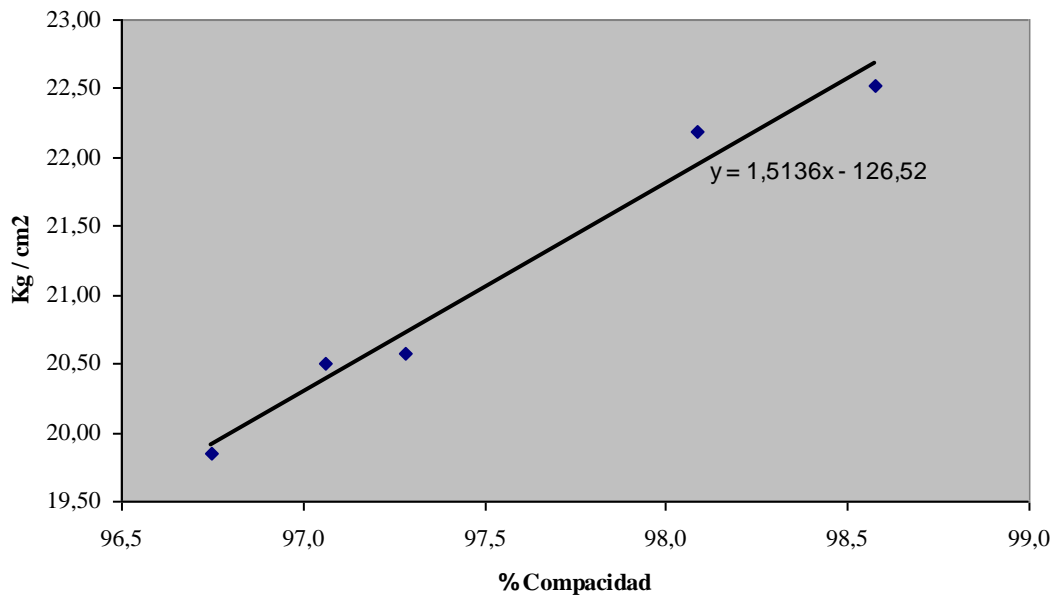


“APLICACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN EL ECUADOR”

COMPANÍAS	R briquetas	R testigos
	kg / cm <sup>2</sup>	kg / cm <sup>3</sup>
MENATLAS	28	21.4
H. C.	27	19.4
TEA	26	18.4

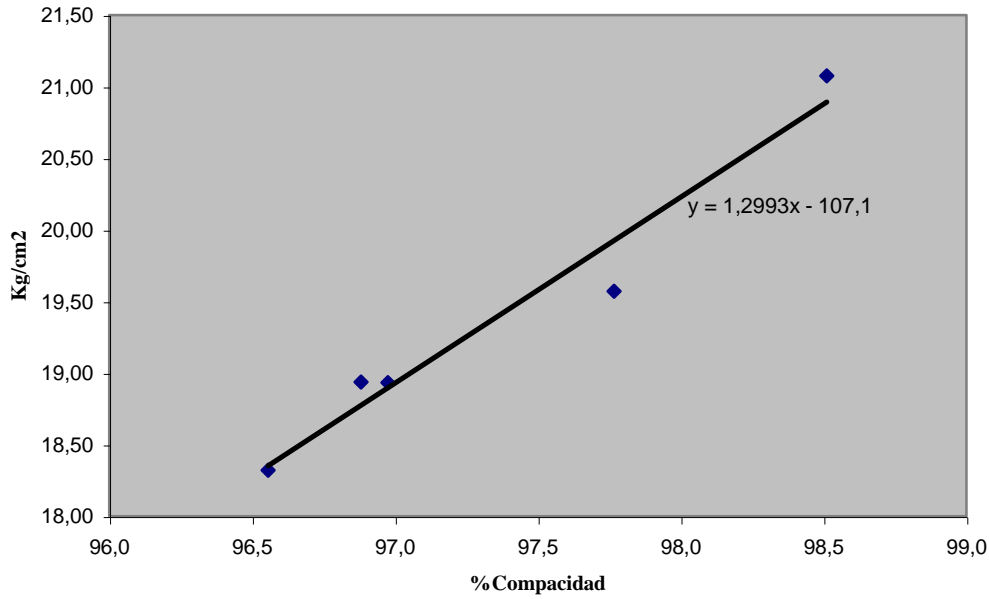
Para hallar el factor b es necesario construir la gráfica % de compacidad vs resistencia a tracción indirecta para cada proyecto.

**Compacidad vs Resistencia a la Tracción Indirecta (Cia Menatlas)**



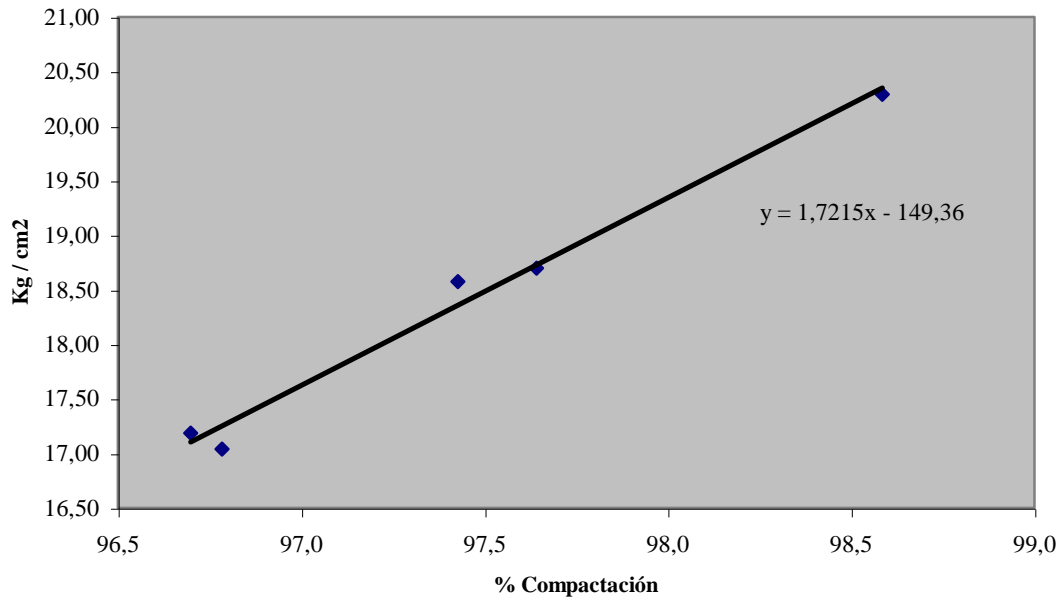
$$b = 1.51, \%C = 97.6$$

Compacidad vs Resistencia a la Tracción Indirecta (Cia. Herdoiza Crespo)



$b = 1.3, \%C = 97.3$

Compacidad vs Resistencia a la Tracción Indirecta (Cia. TEA)



$b = 1.72 \%C = 97.4$



Los factores de calidad obtenidos para los tres proyectos son calculados a continuación:

#### Menatlas

$$FC = [28-(100-97.6)*1.5]-21.38$$

$$FC = [28-2.4*1.5136]- 21.38$$

$$FC = [28-3.633]-21.38$$

$$FC = [24.367]-21.38$$

$$FC = 2.987$$

#### Herdoiza Crespo

$$FC = [ 27-(100-97.3)*1.39 ]-19.33$$

$$FC = [ 27-2.7 * 1.39 ]- 19.33$$

$$FC = [ 27-3.753 ]-19.33$$

$$FC = [ 23.49 ]-19.33$$

$$FC = 3.92$$

#### TEA

$$FC = [26-(100-97.4)*1.72]-18.36$$

$$FC = [26-2.6*1.7215]- 18.36$$

$$FC = [26-4.4759]-18.36$$

$$FC = [21.524]-18.36$$

$$FC = 3.17$$

Como se aprecia los tres proyectos analizados cumplen con la diferencia tolerable (4Kg/cm<sup>2</sup>), además se aprecia que existió un mejor proceso constructivo por parte de la compañía Menatlas con un factor de calidad de 2.9 menor a sus similares TEA y Herdoíza Crespo, con 3.17 y 3.92 respectivamente.



## 9. CONCLUSIONES.

- 9.1.** Se comprobó la relación inversa que existe entre tracción indirecta vs temperatura, es decir a mayor temperatura menor resistencia a la tracción.
- 9.2.** La variación se presenta en un mayor grado mientras decrece la temperatura, acentuadamente bajo los 25 ° C, donde muestra una mayor pendiente.
- 9.3.** Se nota una tendencia al aumento de la diferencia entre los datos de resistencia a la tracción indirecta obtenida en briquetas y núcleos mientras decrece la temperatura. Este fenómeno se mira acentuado desde los 25° C hacia abajo y casi indiferenciado desde los 40 ° C en adelante.
- 9.4.** La sensibilidad del ensayo de tracción indirecta a la temperatura es mucho mayor que la observada con respecto a la inmersión, descendiendo en el primer caso de valores como 18 Kg / cm<sup>2</sup> a 0 ° C, a resultados menores a la unidad a los 60 ° C en núcleos.
- 9.5.** La sensibilidad del ensayo al tiempo de inmersión, no se mantiene constante a todas las temperaturas, se nota pequeños decrecimientos al aumentar el contacto con el agua de 30min a 6 horas en las siguientes temperaturas, 25° C, 40° C, 60°C.
- 9.6.** Se observó en dos de los casos: Menatlas y Herdoíza Crespo una tendencia al aumento de la diferencia de resultados entre ambos tiempos de inmersión, creciendo desde los 25° C a los 60° C, siendo siempre mayores los valores de 30 minutos de inmersión.
- 9.7.** Los resultados a 0° C no cumplen las tendencias de las curvas a decrecer con valores de inmersión mayor, sino que mas bien ocurre un fenómeno de endurecimiento al cristalizarse la muestra, obteniendo de esta manera una



resistencia extra, es decir que a mayores tiempos en contacto con temperaturas bajas la carpeta adquiere también mayor resistencia.

**9.8.** A cero grados centígrados la muestra sufre una falla explosiva, debido a la cristalización del agregados, tal es así que al comparar una falla a 0°C, con una a cualquier otra temperatura ensayada, se nota que en la primera se ha roto el agregado, es decir que la falla no pasa por las juntas, todo lo contrario se da en el segundo caso. Esta información debería ser muy tomada en cuenta en ciertos ambientes de la serranía ecuatoriana, que en un caso eventual de exceso de carga, el pavimento podría literalmente explotar, sin antes mostrar fallas plásticas.

**9.9.** Al realizar las curvas de tolerancia de resultados del ensayo de tracción indirecta en núcleos, se cuenta a su vez con un parámetro de control que se constituye en una herramienta muy útil en vía, al facilitar el trabajo del laboratorista que ahora puede realizar el ensayo enseguida de extraer el núcleo, sin preocuparse de tiempos de inmersión, ni regular la temperatura del ensayo, simplemente verificaría los grados centígrados ambientales y comprobaría si sus datos se encuentran dentro de parámetros aceptables, esto luego de verificar la poca sensibilidad del ensayo al tiempo de inmersión en relación a la temperatura.

**9.10.** Al tratar de corroborar la experiencia extranjera respecto del factor de calidad propuesto en prácticas españolas y argentinas, comprobamos que dicho factor de calidad es perfectamente aplicable para proyectos nacionales, estando los tres analizados dentro del rango de tolerancia de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , y considerando que cuan menor sea el factor de calidad mejor es el proceso constructivo, podemos jerarquizar en su orden la calidad constructiva que ha tenido lugar en cada caso analizado:

- Menatlas.....FC = 2.987
- TEA..... FC = 3.17
- Herdoíza Crespo.....FC = 3.92.



**9.11. Al contar con curvas tracción indirecta vs temperatura quedan establecidos**

factores de calidad a cada una de las temperaturas del ensayo, relacionados con la diferencia entre resultados obtenidos en vía y laboratorio que al final del día nos darán una idea además de las propiedades mecánicas de la carpeta, de la calidad del proceso constructivo.

TEMPERATURA ( °C )	DIFERENCIA TOLERABLE
0	7.5 kg/cm <sup>2</sup>
5	6 kg/cm <sup>2</sup>
10	5 kg/cm <sup>2</sup>
20	2.5 kg/cm <sup>2</sup>
25	1.5 kg/cm <sup>2</sup>
30	1.2 kg/cm <sup>2</sup>
40	0.5 kg/cm <sup>2</sup>
60	0.7 kg/cm <sup>2</sup>

**9.12.** Se encontró que la variación a 60 grados aumentó en lugar de disminuir, variando la tendencia de todos los demás datos, una explicación es que a temperaturas por encima del punto de reblandecimiento del ligante, exaltan el carácter viscoso de las mezclas, y que la fórmula empleada en la determinación de la resistencia a tracción indirecta, sólo es aplicable a materiales con carácter fundamentalmente elástico, sin embargo se ha encontrado un parámetro importante, base para futuras investigaciones.

**9.13.** Se pudo analizar que para el caso de núcleos extraídos del pavimento, el valor tolerante de resistencia a la tracción indirecta luego de seis horas de inmersión a 5°C es de 20 Kg/cm<sup>2</sup>, que en relación a las experiencias extranjeras, es 5 kg/cm<sup>2</sup> menor, por lo que se puede decir que para fines de control de calidad en nuestro país, se admite como valor aceptable 25 Kg/cm<sup>2</sup>, con una tolerancia de +/- 5 kg/cm<sup>2</sup>.



---

**RECOMENDACIONES**

---

- 9.14.** Durante la investigación encontramos fases en las cuales se podría incurrir en errores al momento de obtener el material a ensayar, es decir briquetas y núcleos, tanto en la confección como en la extracción respectivamente, nos referimos a aspectos como temperaturas de molde y martillo de compactación similares a la mezcla, segregaciones del material al vertido, mezclas uniformes, granulometrías exactas, temperaturas de compactación, daño del núcleo al ser extraído, entre otros, por lo que se requiere de mucho tino y toda la atención posible en investigaciones de laboratorio de esta índole, pues pequeños detalles aparentemente insignificantes pueden marcar la diferencia.
- 9.15.** Al realizar ensayos de laboratorio, no solo el que nos compete, se pudo ver en la práctica que conviene que una sola persona sea la que realice un proceso determinado, esto permitirá que todos resulten de la manera mas parecida posible.
- 9.16.** Al analizar toda la información requerida para nuestra investigación, se comprobó una carencia total de la mismas, al hallar solo normas y experiencias extranjeras que vienen a constituirse en “recetas” cuyos ingredientes son los asfaltos y agregados disponibles en sus medios, con procedimientos constructivos pocas veces aplicados en el país, razón por la que consideramos que esta investigación, resultará sumamente útil a la fiscalización de proyectos nacionales.
- 9.17.** Investigaciones similares, deben estar orientadas a universidades, asociaciones e instituciones que promulguen y auspicien a los investigadores, tanto por el costo y tiempo que conlleva realizar trabajos como este, así como por el importante aporte que representa el crear normas y procedimientos nacionales.



**9.18.** El tema analizado fue por demás interesante, pues hasta el momento de tabular

los resultados no sabíamos con claridad si se iban a obtener parámetros de comparación que resulten de utilidad en la práctica, tal vez esta sea una de las razones por las que pocos estudiantes realicen proyectos investigativos de esta índole, a más de la dificultad y falta de información disponible en el medio. Esperamos que motivados por este pequeño análisis que hemos realizado de los asfaltos en el Ecuador, más gente investigadora dedique su tiempo a la obtención de nuevos resultados en el amplísimo campo que implica la ingeniería vial ecuatoriana y de esta manera no quedarnos tan atrás en relación a la investigación realizada por países vecinos.



**BIBLIOGRAFÍA.**

---

- I. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, “MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS”. DIRECCIÓN DE ESTUDIOS. ECUADOR. NOVIEMBRE 1976
- II. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES” MOP – 001- F – 2002 TOMO I Y II”. ECUADOR. 2002
- III. ÁVILA, ANIBAL. “APUNTES DEL INGENIERO ANIBAL AVILA DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES”. ECUADOR. 2000
- IV. INSTITUTO DEL ASFALTO MS – 22. “PRINCIPIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE”. Editada por FHWA (ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE AUTOPISTAS DEL DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DE LOS EEUU). EEUU. AGOSTO 1982
- V. NORMAS ESPAÑOLAS NLT –346 / 90 “RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL DE MEZCLAS BITUMINOSAS”. EDICIÓN CORREGIDA CEDEX (CENTRO DE ESTUDIOS DE CARRETERAS). ECUADOR. 1989
- VI. MIRO RECANSENS, RODRIGO. “CONTROL SOBRE EL PRODUCTO Y COSTE DE LA FALTA DE CALIDAD EN LA EJECUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS”. INFRAESTRUCTURA VIAL. ESPAÑA. ABRIL 2002
- VII. PÉREZ JIMÉNEZ, FELIX. “CALIDAD EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”. JORNADAS SOBRE LA CALIDAD EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. ESPAÑA. MAYO 1999



VIII. MARTINEZ, ADRIANA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COMAHUE,

ARGENTINA

PEREZ JIMÉNEZ, FÉLIX Y MIRO RECANSES, RODRIGO; UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, ESPAÑA.

BIANCHETTO, HUGO. DAGUERRE, LISANDRO; NOSETTI, ADRIÁN; UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, ARGENTINA.

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE TESTIGOS DE CONCRETO ASFÁLTICO MEDIANTE EL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EXPERIENCIAS EN ESPAÑA Y ARGENTINA”. JORNADAS SOBRE LA CALIDAD EN EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. ESPAÑA. MAYO 1999

IX. MARTINEZ, ADRIANA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COMAHUE,

ARGENTINA

PEREZ JIMÉNEZ, FÉLIX. MIRO RECASENS, RODRIGO; UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA, ESPAÑA

BIANCHETTO, HUGO Y DAGUERRE, LISANDRO; NOSETTI, ADRIÁN; UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, ARGENTINA

“EMPLEO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EJECUCIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS” INFRAESTRUCTURA VIAL. ESPAÑA. SEPTIEMBRE 2001.

X. STANDARD METHOD OF TEST FOR RESISTANCE OF COMPACTED BITUMINOUS MIXTURE TO MOISTURE-INDUCED DAMAGE. AASHTO DESIGNATION: T 283-89. EEUU. 1993.