

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS  
MODIFICADAS MEDIANTE EL ENSAYO DE  
TENSION INDIRECTA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERIA CIVIL  
Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION

POR

JOSE GARDUÑO PEREZ

MONTERREY, N. L.

AGOSTO 2005

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®**

**CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
MEDIANTE EL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA CIVIL Y ADMINISTRACIÓN DE LA  
CONSTRUCCIÓN**

**POR**

**JOSÉ GARDUÑO PÉREZ**

**MONTERREY, N. L.**

**AGOSTO 2005**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.®**

**CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS  
MEDIANTE EL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA CIVIL Y ADMINISTRACIÓN DE LA  
CONSTRUCCIÓN**

**POR**

**JOSÉ GARDUÑO PÉREZ**

**MONTERREY, N. L.**

**AGOSTO 2005**

## ÍNDICE

<b>Capítulo 1: INTRODUCCIÓN</b>		<b>Página</b>
1.1	Antecedentes	1
1.2	Definición del problema	6
1.3	Descripción General	9
1.4	Objetivo General	12
1.5	Objetivo Particular	13
1.6	Justificación	15
<b>Capítulo 2: MARCO TEÓRICO</b>		
2.1	Ensayo de Tensión Indirecta	17
2.2	Deformaciones Plásticas Permanentes	24
2.3	Pseudo Módulo	29
2.4	Efecto de Inmersión	31
2.5	Ensayo Marshall	33
<b>Capítulo 3: MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>		
3.1	Cementos Asfálticos Convencionales	38
3.2	Caracterización de Cementos Asfálticos Convencionales	41
3.3	Refinerías en México	43
3.4	Cementos Asfálticos Modificados	44
3.5	Caracterización de Cementos Asfálticos Modificados	47
3.6	Producción y Construcción de Mezclas Asfálticas	49
3.7	Mezclas Asfálticas	58
3.8	Densidades	61
3.9	Materiales Pétreos	63
<b>Capítulo 4: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>		
4.1	Plan de trabajo	65
4.2	Laboratorio	67
4.3	Campo-Laboratorio	69
4.4	Campo	73
<b>Capítulo 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		
5.1	Granulometría	77
5.2	Ensayos de Laboratorio	79
5.3	Ensayos con material muestreado en campo y fabricado en laboratorio	89

5.4	Testigos extraídos en campo	97
<b>Capítulo 6: CONCLUSIONES</b>		
6.1	Conclusiones del estudio	102
6.2	Recomendaciones para estudios futuros	106
<b>Bibliografía</b>		107
<b>ANEXOS</b>		
A-1	Resultados de RTI-PM- Densidades	111
A-1-1	Resultados de Laboratorio	112
A-1-2	Resultados de Campo Laboratorio	132
A-1-3	Resultados de Campo	157
A-2	Resultados del Ensayo de Pista	173
A-2-1	Resultados de Laboratorio	174
A-2-2	Resultados de Campo Laboratorio	180
A-3	Granulometría del Proyecto	186
A-4	Caracterización de los Cementos Asfálticos	188

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.1.-</b> Muestra de Ensayo de Pista y Serie de Pastillas fabricadas en laboratorio.	(9)
<b>Figura 1.2.-</b> Muestras fabricadas en laboratorio, en campo y en planta de asfalto respectivamente.	(10)
<b>Figura 1.3.-</b> Testigos extraídos en campo.	(11)
<b>Figura 2.1-</b> Estado de Tensiones producido por una carga simple de acuerdo a Roque y Buttlar [4].	(18)
<b>Figura 2.2-</b> Dispositivo Lottman.	(19)
<b>Figura 2.3.-</b> Ensayo de tensión indirecta.	(20)
<b>Figura 2.4-</b> Extracción de testigos de campo.	(22)
<b>Figura 2.5.-</b> Falla típica de una probeta sometida a RTI.	(23)
<b>Figura 2.6.-</b> Esquema de Deformación Plástica Permanente (DPP).	(24)
<b>Figura 2.7.-</b> Máquina de Pista.	(27)
<b>Figura 2.8-</b> Cámara térmica con control de temperatura.	(32)
<b>Figura 2.9.-</b> Probetas fabricadas por el método Marshall.	(34)
<b>Figura 2.10.-</b> Probetas ensayada en un estabilómetro Marshall.	(35)
<b>Figura 3.1.-</b> Fase continua y dispersa de asfaltos a diferentes concentraciones de polímeros.	(45)
<b>Figura 3.2.-</b> Esquema de una planta asfalto de producción continua.	(49)
<b>Figura 3.3.-</b> Esquema de una planta de Bacha.	(52)
<b>Figura 3.4.-</b> Pavimentadora típica [13].	(55)
<b>Figura 3.5.-</b> Estructura de Pavimento Flexible.	(56)
<b>Figura 3.6.-</b> Estructura de Pavimento Rígido.	(56)
<b>Figura 3.7.-</b> Estructura de Pavimento Rígido-Flexible.	(57)
<b>Figura 3.8.-</b> Probetas con arreglo para determinar D SSS. (Falta cubeta con agua).	(62)
<b>Figura 4.1.-</b> Extendido de carpeta con Pavimentadora.	(69)
<b>Figura 4.2.-</b> Horno de calentamiento de mezcla.	(69)

<b>Figura 4.3.-</b>	<b>Equipo de compactación Marshall de campo.</b>	<b>(71)</b>
<b>Figura 4.4.-</b>	<b>Procedimiento de construcción del pavimento flexible.</b>	<b>(73)</b>
<b>Figura 4.5.-</b>	<b>Extracción de testigos de campo.</b>	<b>(73)</b>
<b>Figura 4.6.-</b>	<b>Localización de extracción de testigos con SPG.</b>	<b>(75)</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.1.-</b> Principales problemas en la utilización de Asfaltos modificado [2].	(15)
<b>Tabla 4.1.-</b> Detalle de Muestreos en campo.	(70)
<b>Tabla 4.2.-</b> Localización de Testigos con SPG.	(76)
<b>Tabla 5.1.-</b> Límites de la granulometría de proyecto.	(78)
<b>Tabla 5.2.-</b> Resultados de RTI-DSSS-%VM para los ensayos de laboratorio.	(82)
<b>Tabla 5.3.-</b> Resultados de PM para los ensayos de laboratorio.	(87)
<b>Tabla 5.4.-</b> Resultados del Ensayo de pista y contenido de asfalto para laboratorio.	(87)
<b>Tabla 5.5.-</b> Resultados de RTI para los ensayos de campo-laboratorio.	(89)
<b>Tabla 5.6.-</b> Resultados de PM para los ensayos de campo-laboratorio.	(95)
<b>Tabla 5.7.-</b> Resultados de Ensayo de Pista y contenido de asfaltos para los ensayos de campo-laboratorio.	(95)
<b>Tabla 5.8.-</b> Resultados de RTI para los ensayos de campo.	(97)
<b>Tabla 5.9.-</b> Resultados de PM para los ensayos de campo.	(101)

**DEDICADA A MI PADRE:**

Ing. Jose Garduño Cruz, por su inspiración y dirección.

**A MI MADRE:**

Ma. Cristina Pérez de Garduño, por su comprensión y apoyo

**A MI HERMANA**

Cristina Ma. Garduño Pérez, por su paciencia y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez**

Por toda la asesoría brindada para el desarrollo de este proyecto.

**Dr. Jorge Cepeda Aldape**

Por su valiosa crítica y cooperación en el desarrollo del proyecto

**Dr. Sergio Garza Bacco**

Por sus correcciones y contribuciones al proyecto.

**Ing. Guillermo Gil Moreno e Ing. Francisco Ruiz**

En representación de la delegación X de CAPUFE, por el apoyo en la realización del muestreo de campo en la autopista Monterrey-Laredo.

**Ing. Vinicio Serment Guerreo**

En representación del Centro SCT de Nuevo León, por el apoyo en la concepción de este proyecto.

**Ing. Jorge Martínez e Ing. Orlando Soto**

En representación de la empresa PACCSA, por facilitar el acceso a la obra, planta de asfalto y todas las atenciones prestadas durante el muestreo del proyecto.

**Sr. Demetrio Domingo, Sr. Marco Martínez y Sr. Sostenes**

En representación de la empresa Servicios de Resistencia de Materiales, por la amplia cooperación de su persona y personal para facilitar los testigos extraídos en campo.

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio realizado para identificar y diferenciar una superficie de rodamiento, fabricada de Mezcla Asfáltica Convencional (MAC) y una Mezcla Asfáltica Modificada (MAM), tendida y compactada. La inquietud de esta investigación nace para apoyar a las administraciones federales de México, (SCT, CAPUFE), con una metodología que permita diferenciar una MAC de una MAM una vez construida. Mediante una investigación bibliográfica, se eligió el ensayo de tensión indirecta a 5° C y 25° C, en seco y húmedo (sometiendo las probetas a inmersión 24 horas a 60° C), fabricándolas con el procedimiento Marshall estándar para mezclas densas, así como el ensayo ITESM-Ensayo de Pista. El estudio es de carácter experimental tanto en laboratorio como en campo. En el laboratorio se elaboraron 4 series de 24 pastillas Marshall (6 por cada temperatura), 2 de ensayo de pista con 3 asfaltos modificados con polímeros (SB, SBS y EVA) y un convencional (AC-20), como grupo de control. En campo se muestreo la carpeta asfáltica de la obra “Rehabilitación del pavimento del Km 22+700 al Km 58+400 de la autopista Monterrey-Nuevo Laredo, México”, obteniéndose carpeta asfáltica directamente del tendido, así como en la planta dosificadora, para ser transportada al laboratorio de Materiales Asfálticos del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, donde se elaboraron 164 pastillas Marshall, 8 de ensayo de pista de 7 muestreos, de igual manera se obtuvieron mediante extracción directa de la carpeta asfáltica en campo 33 Testigos. Encontrando que la resistencia a tensión indirecta (RTI), el Pseudo Modulo (PM) de una mezcla asfáltica fabricada en laboratorio y la RTI-PM de un testigo extraído en campo, tienen resultados relacionados entre sí por medio de la densidad, y que la RTI-PM para el caso estudiado no permite diferenciar una MAC de una MAM, pero el ITESM- ensayo de pista sí, midiendo las deformaciones plásticas permanentes (DPP). De tal manera que con la RTI-PM-DPP se puede llevar un control de calidad adecuado y de esta manera asegurar la calidad de la mezcla asfáltica solicitada en el proyecto.

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Página</b>
<b>Gráfico 2.1.-</b> Gráfico de Esfuerzo-Deformación de la RTI a 5° C y 25° C.	(23)
<b>Gráfico 2.2.-</b> Resultados de Ensayo de Pista.	(28)
<b>Gráfico 2.3.-</b> Determinación del Pseudo Modulo.	(29)
<b>Gráfico 2.4.-</b> Concepto Pessimum de vacíos [6].	(32)
<b>Gráfico 5.1.-</b> Granulometría de proyecto.	(78)
<b>Gráfico 5.2.-</b> Resultados de la Recuperación Elástica por Torsión.	(79)
<b>Gráfico 5.3.-</b> Resultados del Punto de Reblandecimiento.	(80)
<b>Gráfico 5.4.-</b> Resultados del Índice de Penetración.	(81)
<b>Gráfico 5.5.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en laboratorio.	(84)
<b>Gráfico 5.6.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. Densidades SSS en laboratorio.	(84)
<b>Gráfico 5.7.-</b> D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en laboratorio.	(85)
<b>Gráfico 5.8.-</b> D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en laboratorio.	(85)
<b>Gráfico 5.9.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en laboratorio.	(86)
<b>Gráfico 5.10.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en laboratorio.	(86)
<b>Gráfico 5.11.-</b> Resultados de los Ensayos de Pista para los ensayos de laboratorio.	(88)
<b>Gráfico 5.12.-</b> RTI a 5°C y 25°C (seco) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.	(91)
<b>Gráfico 5.13.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.	(92)
<b>Gráfico 5.14.-</b> D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo-laboratorio.	(92)
<b>Gráfico 5.15.-</b> D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo-laboratorio.	(93)
<b>Gráfico 5.16.-</b> RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en	

campo-laboratorio.	(93)
<b>Gráfico 5.17.-RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo-laboratorio.</b>	<b>(94)</b>
<b>Gráfico 5.18.-Resultados del Ensayo de Pista para los ensayos de campo-laboratorio.</b>	<b>(96)</b>
<b>Gráfico 5.19.-RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.</b>	<b>(98)</b>
<b>Gráfico 5.20.-RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.</b>	<b>(98)</b>
<b>Gráfico 5.21.-D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.</b>	<b>(99)</b>
<b>Gráfico 5.22.-D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo.</b>	<b>(100)</b>
<b>Gráfico 5.23.-RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.</b>	<b>(100)</b>
<b>Gráfico 5.24.-RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.</b>	<b>(101)</b>

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

	<b>Página</b>
<b>Esquema 4.1.-</b> Plan de trabajo de ensayos RTI-PM-Densidades.	(66)
<b>Esquema 4.2.-</b> Detalle de Ensayos de RTI-PM en Laboratorio.	(67)
<b>Esquema 4.3.-</b> Detalle de Ensayos de Pista de Laboratorio.	(68)
<b>Esquema 4.4.-</b> Detalle de ensayo de RTI-PM en Campo-Laboratorio.	(71)
<b>Esquema 4.5.-</b> Detalle de Ensayos de Pista en Campo-Laboratorio.	(72)
<b>Esquema 4.6.-</b> Detalle de Ensayos de RTI-PM de Campo.	(74)
<b>Esquema 6.1.-</b> Propuesta de Diseño.	(105)

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

En la presente sección se da una breve reseña histórica de la introducción y avance de la normatividad de las mezclas asfálticas y asfaltos en general, así como una descripción del estado actual de la normativa a la incorporación de los asfaltos modificados al mercado de tal forma que el lector pueda comprender lo que se pretende investigar.

#### **1.1 ANTECEDENTES**

En este proyecto se desarrolla el plan de trabajo de una investigación siguiendo un método experimental, para determinar un procedimiento que auxilie el control de calidad en las mezclas asfálticas modificadas. La inquietud de la investigación nace de una problemática relativamente nueva en nuestro país, que surge en los años 90's cuando la tecnología de los asfaltos modificados fue introducida a los sistemas de pavimentación, principalmente se comenzaron a detectar problemas en la calidad de las mezclas, encontrándose con la sospecha de que los contratistas utilizaban mezclas asfálticas convencionales en lugar de las modificadas, aprovechándose del hecho que las normas mexicanas, no marcan ningún método para comprobar la presencia de modificadores o polímeros en las mezclas construidas.

A razón de esto autoridades federales como la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), en conjunción con el Laboratorio de Asfaltos del ITESM, establecieron una iniciativa para determinar un control de calidad en las mezclas asfálticas modificadas, teniendo como objetivo evaluar la resistencia a Tensión Indirecta (RTI), de Mezclas Asfálticas Modificadas (MAM) y Mezclas Asfálticas Convencionales (MAC), empleando el método de ensayo Tensión Indirecta (ASTM D-4123, AASHTO TP831, NLT-346/90), estableciendo diferencias entre una MAM y MAC, con el fin de definir valores mínimos que permitan determinar la presencia de modificadores y la calidad en una mezcla asfáltica tendida y compactada.

Se estudiarán mezclas con tres tipos de modificadores de asfalto que son los que comúnmente se utilizan:

- 1.- Estireno-Butadieno-Estireno (SBS o Tipo I)
- 2.- Estireno-Butadieno (SB o Tipo I)
- 3.- Etil-Vinil-Acetato (EVA o Tipo III)

Los valores de RTI obtenidos de las mezclas anteriores serán comparados con valores de RTI de una MAC la cual es base para los anteriores. Se evaluará las RTI de muestras obtenidas de carpeta tendida y compactada en el caso del modificador EVA y se compararán con la RTI de muestras fabricadas en laboratorio.

A partir de los resultados de RTI de cada una de las cuatro mezclas fabricadas en laboratorio y la muestra adicional extraída de un tramo carretero, se establecerá un método para controlar la calidad de una MAM mediante el ensayo de Tensión Indirecta.

Entre 1938 y 1940 arribaron a la república mexicana las primeras plantas de asfalto importadas de los Estados Unidos, En esa época se trabajaba con normas extranjeras debido a que la SCT no contaba con las propias, la primera edición de normas acerca de las mezclas asfálticas y características de los asfaltos se publicó en 1957. Este primer

juego de normas simplemente era una traducción de las normas establecidas por la American Society of Testing Materials (ASTM). La tendencia a copiar y traducir normas de países y organismos extranjeros ha sido la forma de obtener la normativa que rige nuestro país, existiendo muy poca iniciativa para investigar y estudiar la posibilidad de producir unas propias. En 1960 se importaron a México los primeros equipos de diseño por el método Marshall, instalados en los laboratorio de la SCT en México y Guadalajara [1]. Este método fue seleccionado por ser sencillo conceptualmente y el equipo necesario para realizarlos tenía un precio razonable.

El diseño Marshall en sus principios como lo dictaban las normas mexicanas contemplaba las siguientes características: Vacíos en el agregado mineral, contenido de asfalto, valores de estabilidad y flujo. En los últimos 40 años el cambio en el método de diseño es nulo, lo que claramente indica el atraso en la normatividad [1]. En lo que se refiere a la clasificación de los asfaltos por su propiedades típicamente evaluadas por medio de pruebas de viscosidad o consistencia a temperaturas de entre 5 y 170° C, han demostrado ser buenos puntos de comparación y caracterización de los tipos de asfaltos, pero tienen un gran factor empírico en cuanto a sus resultados, ya que no existe un consenso acerca de la interpretación de cada una de las propiedades evaluadas. El avance y modificación a las pruebas y límites de calidad en los asfaltos es constante, pero no el adecuado para garantizar pavimentos con buena vida útil.

En la ingeniería de pavimentos flexibles el empleo de Cemento Asfáltico Modificado (CAM), se ha incrementado considerablemente ya que presenta propiedades mecánicas y reológicas superiores a las del Cemento Asfáltico Convencional (CAC). Incorporado el CAM a los agregados, este le transmite propiedades mejoradas, obteniéndose MAM, con propiedades y comportamientos superiores.

El uso de los asfaltos modificados con polímeros ha tenido desde sus inicios en México en 1993 [2], un incremento en su aplicación en carpetas asfálticas de carreteras federales, estatales y caminos municipales. El empleo de estos tiene un costo económico superior a un asfalto normal, ya que el incorporar los polímeros al asfaltos significa un proceso a

través de una planta industrial y esto aunado al costo de adquisición y la necesidad de más temperatura de mezclado con los agregados significa un sobre costo. Sin embargo la garantía de que se utilicen a pesar de estar especificado en un concepto, no existe. Los contratistas y constructoras han tomado la postura de solo emplear alrededor de un 10% de CAM, empleando en el resto del proyecto los CAC. Esta situación contradice a lo especificado en el proyecto y da como resultado pavimentaciones de calidad MAC a precios de calidad MAM.

Las autoridades responsables de estas obras exigen la evaluación de las propiedades reológicas del cemento asfáltico antes de ser incorporado a la mezcla, para diferenciar de un CAC a un CAM, pero carecen de una metodología que permita detectar la presencia del CAM en una mezcla tendida y compactada.

El control de calidad sobre las mezclas se realiza sobre el material fabricado en planta y no sobre el producto una vez extendido y compactado en la capa de rodadura. Y es aquí donde el constructor encuentra el punto débil para utilizar asfaltos convencionales en lugar de los modificados, resultando en una baja en la calidad. También durante el proceso de transporte, extendido y ejecución pueden producirse fallos y deterioros, como escurrimiento del ligante, segregación de los agregados, etc., que influyen en la calidad del producto final y que no se consideran ni se detectan. El control sobre el producto final se reduce normalmente al control de su compacidad. Suele especificarse que la mezcla colocada y compactada alcance una densidad del 98 al 100% del valor de referencia. El control de calidad de acuerdo a Adrián Nosetti et. Al, queda solo especificado en lo siguiente:

- La composición de la mezcla determinada mediante la realización del ensayo de extracción.
- La estabilidad y contenido de huecos de la mezcla, verificado mediante la realización del ensayo Marhsall sobre el producto fabricado en planta.
- Compacidad conseguida en la ejecución, mediante la extracción de testigos, comparando su densidad con la Marshall patrón.

Y, que hay acerca de la comprobación de utilizar un asfalto modificado, no existe nada que lo compruebe una vez que la mezcla esta tendida y compactada. Por lo tanto, a través del estudio de propiedades mecánicas de la MAM se pretende determinar la presencia de CAM y establecer mediante un procedimiento sencillo el control de calidad de los MAM. Lo anterior se estudió implementándolo en ensayos de laboratorio y campo, de la prueba de RTI. Esta propiedad ha sido estudiada anteriormente a la tesis de la Dra. Adriana Martínez “Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución”, de aquí nace la idea de utilizar esta misma prueba y un procedimiento similar al que se siguió en esta tesis doctoral.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del juego de normas especificadas actualmente por la SCT, la verificación de la calidad de las mezclas asfálticas se encuentra enunciado en las siguientes normas:

- 1.- N·CMT·4·05·003/02      Control de calidad de mezclas Asfálticas.
- 2.- M·MMP·4·05·031      Método Marshall de diseño para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa.
- 3.- M·MMP·4·05·029      Muestreo de Mezclas Asfálticas.

En estas normas se encuentran las actuales bases para realizar el control de calidad en las mezclas asfálticas modificadas, la primera de ellas hace referencia acerca de cuales son las características que deben cumplir los asfaltos modificados, y se refiere a la norma marcada con el numero dos. En esta norma se especifica como se debe diseñar una mezcla por el método Marshall para mezclas densas, estableciendo un valor mínimo de 1200 a 1800 kg estabilidad Marshall (N-CMT-4-05-003/02). Pero acerca de cuanta resistencia mecánica deben cumplir las mezclas asfálticas tendidas y compactadas en campo, no existe ningún valor. La verificación de la calidad de las mezclas asfálticas, se enuncia en la norma marcada con el numero tres, donde se establece el procedimiento para muestrear testigo de la carpeta asfáltica tendida y compactada de 4" de diámetro, verificando que cumpla con el espesor y densidad especificado. Pero es evidente que no es suficiente para poder garantizar la vida útil típica de pavimentos con un buen desempeño de entre 5 a 20 años.

Por lo general las pruebas para asegurar la calidad son delegadas a los bufetes de ingeniería que desarrollan los proyectos y que normalmente terminan en que la empresa encargada de la supervisión solo revisa los espesores de carpeta y densidades.

Es ampliamente discutido y conocido que la estabilidad Marshall no es un parámetro adecuado para medir la resistencia mecánica de una mezcla asfáltica, básicamente por no simular las condiciones de carga reales [6]. Sin embargo el Ensayo de Tensión Indirecta

---

ha probado ser un buen método para estimar la calidad y resistencia mecánica de cualquier mezcla asfáltica, como lo comprueba la Dra. Adriana Martínez en la tesis doctoral “Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución”.

Es por esto que para determinar un procedimiento que asegure el control de calidad de mezclas asfálticas modificadas se ha decidido investigar los valores típicos de RT de diferentes MAM.

Dentro del marco de esta investigación se pretende satisfacer las siguientes preguntas que sirven de base para el planteamiento del problema:

- 1.- ¿Como comprobar que una mezcla asfáltica tendida y compactada contiene CAM, con ensayos de laboratorio?
- 2.- ¿Cual es la diferencia permisible entre la RTI de una mezcla asfáltica fabricada en laboratorio y de las muestras extraídas en campo (Testigos)?
- 3.- ¿Cual es la diferencia permisible entre la RTI de una mezcla asfáltica fabricada en laboratorio y la de una fabricada en campo?

A partir de las preguntas anteriores se puede identificar que para responder a las interrogantes es necesaria la definición de una hipótesis de diferencia de grupos para establecer parámetros de comparación o correlación.

Es por esto que dentro de este contexto, el problema de investigación queda definido con la siguiente oración:

“Desarrollar una investigación para determinar valores típicos de RTI de una MAM y una MAC, fabricadas en laboratorio y de testigos extraídos en campo, correlacionando

estos valores, para así poder determinar la presencia de CAM en mezclas asfálticas tendidas y compactadas, para asegurar la calidad de las MAM”

Esta investigación requiere de una experimentación en laboratorio y en campo para evaluar la resistencia a la tensión de MAC y MAM detallada en el capítulo de metodología.

### 1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL

El plan de trabajo de esta investigación experimental se basó primeramente en estudiar la diferencia entre la RTI de una MAC y tres MAM (SBS, SB, EVA), estudiándose bajo cuatro condiciones, a 5° C y 25° C en seco y a estas dos mismas temperaturas pero sometidas a un periodo de inmersión en agua a 60° C por 24 hrs. que se considera como húmedo. Adicionalmente conociendo la curva de esfuerzo deformación de las probetas ensayadas se determinó el Pseudo Modulo (PM) de cada probeta. Se fabricaron 6 probetas para cada condición, con la misma granulometría densa y contenido de asfalto (ver figura 1.1). El ITESM ensayo de pista (ver figura 1.1) fue realizado por pares para cada asfalto evaluando la resistencia a las deformaciones plásticas permanentes (DPP) de las mezclas y se determinó la densidad con las muestra saturada y superficialmente seca (NLT-168/90) para todas las muestras, de tal manera que se pueda tener un punto de comparación con los testigos extraídos en campo y poder así evaluar la relación RTI-Densidad. La densidad aparente de las probetas fue determinada pero no utilizada debido a que la geometría de los testigos en campo, no permite un punto de comparación adecuado. Con los ensayos anteriores se tienen cuatro parámetros de la mezclas para controlar su calidad, RTI, PM, DPP y Densidades, de tal manera que se tiene una amplio conocimiento de las propiedades de las mezclas. La reología del asfalto normal y modificado fue medida para completar el panorama.

**Figura 1.1.-** Muestra de Ensayo de Pista y Serie de Pastillas fabricadas en laboratorio.



Lo anterior define lo que es el trabajo de laboratorio donde todas las condiciones son controladas y conocidas. Pero en orden de poder validar dicho estudio se busco aplicar un caso práctico donde aplicar estos ensayos, fue por lo que con antelación a la planeación de este proyecto se busco el apoyo del centro SCT Nuevo León y la delegación X de CAPUFE, para de una obra que se encontrara en construcción se pudiera muestrear carpeta directamente del tendido, de la planta de asfalto y se pudieran extraer testigos de campo con maquina perforadora. Fue así que con ayuda de las dependencias federales se me facilito el acceso a la obra “Rehabilitación del pavimento mediante estabilización de la base hidráulica, reforzamiento con sobrecarpeta, de concreto asfáltico y suministro y colocación de señalamiento horizontal del Km 22+700 al Km 58+400 cuerpo izquierdo, de la autopista Monterrey-Nuevo Laredo” asignado a la empresa constructora Pavimentos Caminos y Compactaciones, S. A. de C. V., la cual previo aviso estuvo de acuerdo en el desarrollo del estudio. Contando con la autorización para muestrear carpeta en dicho proyecto se ejecutó el segundo capítulo de este estudio, se realizaron 7 muestreos, de los cuales se fabricaron series de 24 pastillas, de donde uno de estos muestreos las probetas se fabricaron en campo y otro de ellos se realizaron en las instalaciones de la planta de asfalto, los otros cinco muestreos fueron llevados al laboratorio de asfaltos del ITESM (ver figura 1.2), donde se calentó la muestra a la temperatura de 175° C en un horno y se fabricaron 24 series de pastillas por muestreo y dos probetas para ensayo de pista. Las probetas fueron ensayadas bajo las mismas cuatro condiciones descritas para los ensayos de laboratorio y se midieron los mismos cuatro parámetros RTI, PM, DPP y densidades.

**Figura 1.2.-** Muestras fabricadas en laboratorio, en campo y en planta de asfalto respectivamente.



Por ultimo para poder completar el estudio, se extrajeron 33 testigos de la carpeta tendida y compactada en campo con maquinaria pesada (ver figura 1.3), de los cuales se midieron la RTI, PM y Densidades, para cada muestra evaluando, 8 probetas para la temperatura de 5° C (seco), 25° C (seco), 5° C (Húmedo), 9 probetas a 25° C (Húmedo). Las DPP no fueron evaluadas en este caso por que no se contaba con el equipo adecuado para extraer testigos rectangulares de 15 x 30 Cm. para evaluarlos ya que la perforadora solo contaba con un cilindro punta de diamante de 4". Con estas probetas se completó el tercer capitulo del estudio.

**Figura 1.3.-** Testigos extraídos en campo.



Contando con todos estos datos clasificados en tres capítulos, uno para el trabajo de laboratorio, otro para el trabajo de campo-laboratorio y un tercero para la extracción de testigos, se buscará la correlación de los resultados para poder recomendar un método para el control de calidad de las mezclas modificadas de acuerdo a lo que se especifica en los objetivos.

#### **1.4 OBJETIVO GENERAL**

Empleando el método de ensayo Tensión Indirecta (ASTM D-4123, AASHTO TP831, NLT-14/23), a 5° C y 25° C, así como el efecto de la inmersión a 60° C , en agua por 24 hrs, y después ensayadas a 5° C y 25° C, se definirá un procedimiento para llevar el control de calidad de las mezclas asfálticas modificadas, al alcance de las tecnologías disponibles en el medio de la construcción. De manera adicional se evaluará el Pseudo Modulo de las mezclas estudiadas en todos los tratamientos y temperaturas, así como sus Deformaciones Plásticas Permanentes a 60° C para obtener una vista más holística del control de calidad de las mezclas.

## 1.5 OBJETIVO PARITUCLAR

Objetivo particular 1:

Evaluar la Resistencia a Tensión Indirecta (RTI), de MAM y MAC, estableciendo diferencias entre la RTI de cada una, con el fin de definir valores mínimos que permitan determinar la presencia de modificadores en una mezcla asfáltica tendida y compactada.

Estudiar tres tipos de modificadores de asfalto que son lo que comúnmente se utilizan:

- 1.- Estireno-Butadieno-Estireno (SBS)
- 2.- Estireno-Butadieno (SB)
- 3.- Etil-Vinil-Acetato (EVA)

Los valores de RTI de MAM con los tres polímeros anteriores serán comparados con valores de RTI de un CAC el cual es base para los anteriores.

Objetivo Particular 2:

En el caso del asfalto modificado con EVA, se evaluara la RTI de muestras obtenidas de carpeta asfáltica tendida y compactada con rodillo metálico y neumático. Para comparar con la RTI de muestras compactadas en el laboratorio por el procedimiento Marshall, para así determinar una diferencia permisible entre RTI de cada una.

Objetivo Particular 3:

Evaluar la diferencia entre la RTI de probetas fabricadas en campo-laboratorio y en laboratorio con el sistema de compactación Marshall.

Objetivo Particular 4:

Comparar la relación de RTI con la densidad obtenida en los testigos extraídos en campo, comparados contra las obtenidas en laboratorio de las muestras fabricadas.

Objetivo Particular 5:

Comparar la relación con el Pseudo Modulo y RTI en todas las pruebas tanto de laboratorio como de campo.

Objetivo Particular 6:

Empleando el ITESM-Ensayo de Pista, estudiar la resistencia a las deformaciones plásticas permanentes de las mezclas fabricadas en laboratorio.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

En el año de 1993, se inicio en México la utilización y fabricación de asfaltos modificados [1]. La introducción de dicha tecnología se debió principalmente a que los asfaltos convencionales con los que se contaba en México, no podían desarrollar la reología adecuada y una vez incorporados en la mezcla no desarrollaban propiedades mecánicas satisfactorias. Es por esto que se buscó importar tecnologías de los Estados Unidos, resultando en la introducción al mercado de los asfaltos modificados.

Al momento de introducir estos nuevos productos en el mercado, la SCT y CAPUFE identificaron la necesidad de contar con nuevas normas y procedimientos constructivos para poder asegurar la calidad de dichas mezclas. Se encontró que existen excelentes pruebas para determinar la presencia de modificadores en el asfalto y se establecieron las normas pertinentes. Se pensó que eso sería suficiente para poder evaluar el correcto uso de la tecnología. Pero al paso de los años, se empezó a detectar que las mezclas asfálticas no presentaban el comportamiento esperado y se comenzaron a detectar fallas estructurales en las carpetas asfálticas de la misma forma que antes de utilizar los asfaltos modificados. La SCT en el Tercer Congreso Mexicano del Asfalto, presentó la problemática en referencia a la utilización del asfalto modificado que se muestran en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1.- Principales problemas en la utilización de Asfaltos modificado [2].**

**Modificador:**

- No usar Modificador.
- No usar el adecuado.
- Usarlo en cantidad insuficiente.

**Asfalto base:**

- No ser el solicitado.
- Usarlo en cantidad inadecuada.

**659990**

---

**Asfalto modificado:**

- No usar las propiedades adecuadas.
- No mezclarlo adecuadamente.
- Almacenamiento inadecuado
- Transporte inadecuado.

La SCT, propone esquemas de sanciones al incurrir en algunos de las fallas mencionadas en la tabla 1.1. Pero el problema ahora recae en como comprobar la utilización del asfalto modificado en una carpeta asfáltica. Muchos constructores y contratistas han tomado posturas de utilizar en su totalidad el asfalto modificado, utilizando en la construcción un asfalto convencional. La razón de incurrir en esta práctica cuestiona la ética del constructor, pero beneficia su economía, ya que las mezclas modificadas más caras que las convencionales. Se han observado casos tan extremos como la carretera México-Toluca y las laterales de Arboledas a las Torres del periférico en el Estado de México, donde los pavimentos tuvieron una vida útil de menos de un mes [1], por falta de control en la calidad de las mezclas asfálticas utilizadas. Es por esto que en esta investigación se pretende establecer valores mínimos de RTI de cumplir en el laboratorio para efectos del diseño y en testigos extraídos en campo a fin de asegurar la calidad de las mezclas asfálticas modificadas.

## **CAPÍTULO 2:**

### **MARCO TEÓRICO**

En el desarrollo de este capítulo se describen los conceptos y teorías necesarias para poder comprender el contexto del problema, las herramientas y técnicas que se utilizan en la industria de la construcción, utilizándose el lenguaje más claro posible para la comprensión de cualquier lector.

#### **2.1 ENSAYO DE TENSION INDIRECTA**

Este ensayo tiene una aplicación documentada para el control de calidad de mezclas asfálticas, existen tesis como la de la Dra. Adriana Martínez, trabajos publicados de Kennedy de la Universidad Texas A&M, Universidad de Carleton en Ottawa, Canadá, la Universidad Al-Azhar en El Cairo, Egipto y la normativa SHRP, por mencionar algunos. El ensayo de tensión indirecta reproduce el estado de tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica. Es un método práctico y simple para caracterizar las propiedades de las mezclas asfálticas.

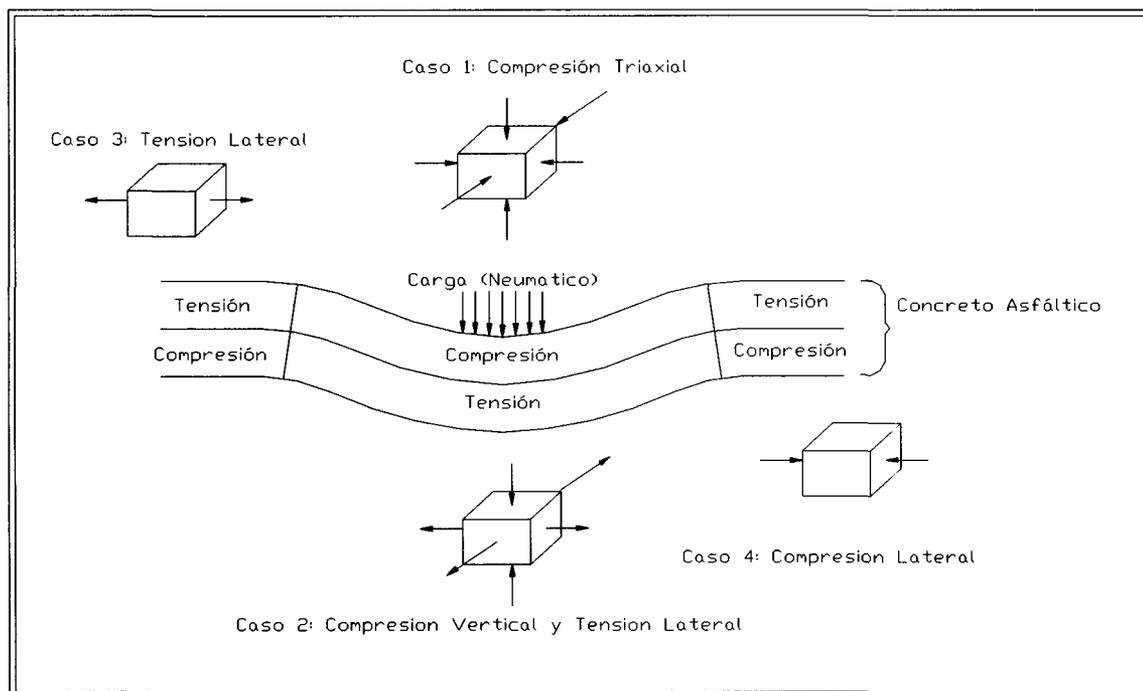
Analizando un la figura 2.1 se puede ver, como en el caso 1 se tiene un estado de compresión triaxial en la superficie debajo del neumático y el caso 2 representa un estado de esfuerzos donde por medio de compresión vertical de la rueda se presenta tensión lateral, lo que se simula con la prueba de RTI. Es conocido que existen ensayos

---

para representar cada una de estas 4 condiciones, pero la teoría y diversos experimentos nos indican que la zona mas crítica de tensiones se produce en la fibra inferior del concreto asfáltico, lo que representa el caso 2 [4].

Antes de 1965, el ensayo de tracción indirecta se utilizaba para medir la resistencia a tensión del concreto hidráulico. A partir de este año se comenzó a utilizar en mezclas asfálticas en proyectos de investigación.

**Figura 2.1-** Estado de Tensiones producido por una carga simple de acuerdo a Roque y Buttlar [4].

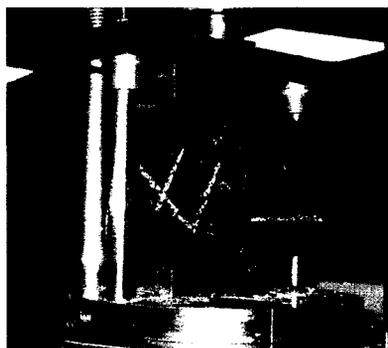


En 1970, Lottman en la Universidad de Idaho realizó un estudio para identificar un método para determinar la susceptibilidad a la humedad de la mezclas asfálticas, donde originalmente desarrollo la norma del AASHTO T283, y básicamente consistía en determinar un factor utilizando la RTI, donde se ensayaban probetas a 25°C y se comparaban contra probetas sometidas a un proceso de inmersión en agua a 60°C y a un posterior ciclo de congelación y de esta manera poder determinar la susceptibilidad a la humedad de la mezcla [6]. Este método fue posteriormente modificado pero la esencia

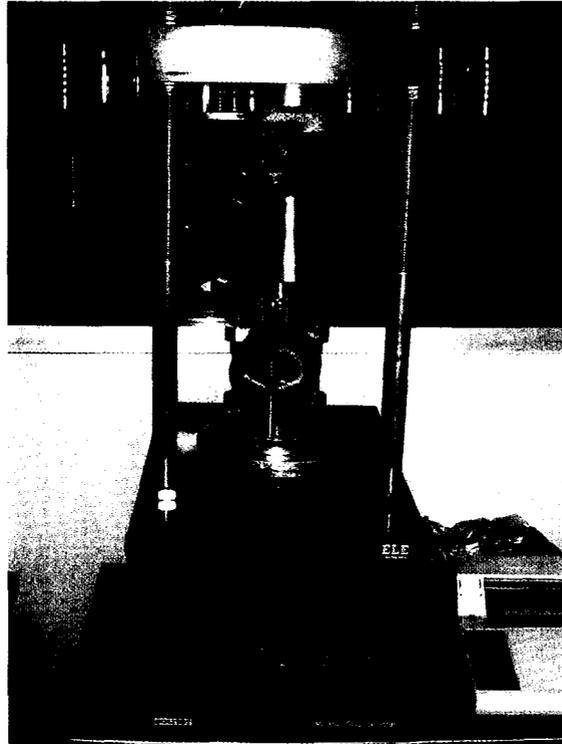
del mismo persiste. Y fue de aquí donde la idea de utilizar en ensayo de RTI para evaluar la calidad de las mezclas asfálticas. Se seleccionó la temperatura de 5°C, porque la mezcla se comporta como un material rígido, donde se pueden apreciar mejor sus propiedades de fractura y las variaciones en su composición y proceso de fabricación [20], y 25°C para comparar la diferencia a una temperatura donde se comporta como un material visco-elástico. La inmersión en agua de 60°C se utilizó para observar si las probetas son afectadas por el agua, comparándolas con los resultados en seco. La razón de no utilizar el ciclo de congelamiento fue porque en México las bajas temperaturas no abundan y es lo que se pretende simular con este paso.

En general, el principio de este método consiste en aplicar una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica colocada horizontalmente en lo que se denomina un dispositivo Lottman, donde con un par de barras metálicas rectangulares, montadas en un sistema guía como se ve en la figura 2.2, se aplican esfuerzos con dos generatrices opuestas en un plano diametral vertical esto se puede ver en la figura 2.3.

**Figura 2.2-** Dispositivo Lottman



Esta configuración de carga desarrolla una tensión uniforme perpendicular a la dirección de la carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral, que finalmente causa el fallo de la muestra por fractura a lo largo del diámetro vertical.

**Figura 2.3.-** Ensayo de tensión indirecta.

La RTI o tracción indirecta, de una probeta cilíndrica se determina con la siguiente ecuación, con una aproximación de dos decimales:

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

Donde:

RTI = Resistencia a tensión indirecta, (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga Máxima de rotura, (Kg)

$\pi$  = 3.14159

h = Altura promedio de la probeta, (cm)

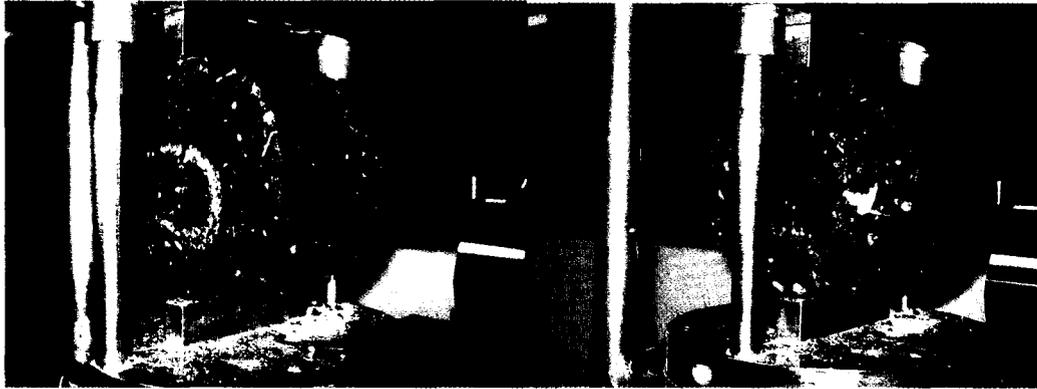
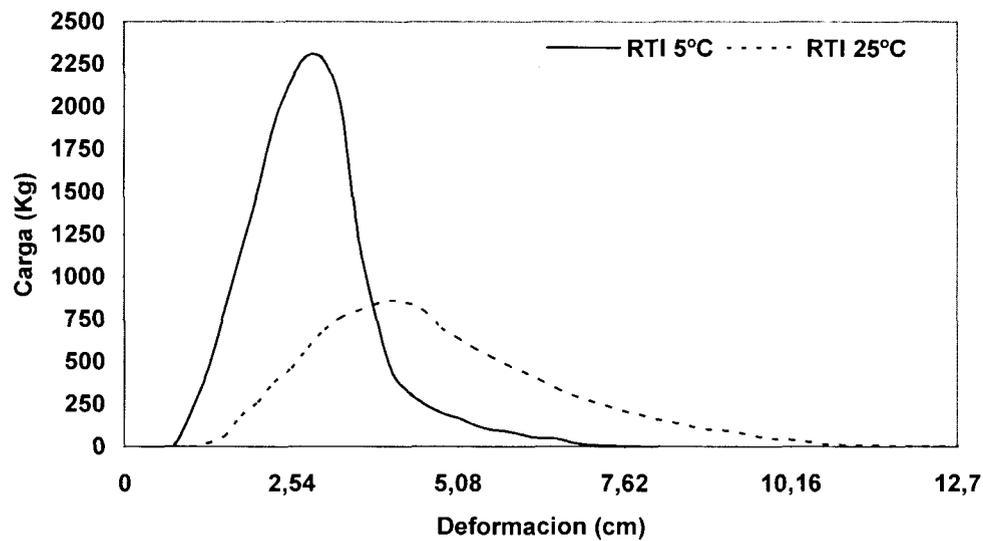
d = Diámetro de la probeta, (cm)

Este ensayo como lo enuncia la norma española “Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas”, permite definir un parámetro capaz de caracterizar una mezcla asfáltica, optimizar en función del contenido de ligante la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante, midiendo la carga de rotura de la probeta. También con la instrumentación adecuada se puede medir el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la probeta, que en nuestro caso por medio de una graficadora XY y un sistema análogo de carga y desplazamiento se registró tanto la carga de rotura como el desplazamiento vertical, resultando en curvas esfuerzo-deformación. El procedimiento se emplea tanto para probetas del material fabricado en laboratorio como para los testigos extraídos del pavimento. Este ensayo goza de muchas ventajas, la más obvia es la simplicidad de su procedimiento, aunado al hecho que la mayoría de los laboratorios en la Republica Mexicana cuentan con un estabilómetro Marshall, por lo que lo único que se tiene que adquirir es el dispositivo Lottman o en un caso muy precario un par de barras metálicas rectangulares.

Acerca de las probetas de ensayo para la prueba de RTI se utilizan probetas fabricadas por el procedimiento Marshall (se detalla en el apartado del Ensayo Marshall), de 10.16 cm de diámetro con alturas que no deben ser menores de 3 cm y no mas de 7 cm, medidas con vernier en tres puntos del diámetro de la misma, compactadas a 75 golpes por cara para mezclas densas y a la temperatura determinada por la viscosidad del cemento asfáltico correspondiente o deseada, dependiendo de la condiciones del estudio. También para este ensayo se pueden utilizar testigos extraídos en campos con máquina perforadora con punta de diamante como se puede ver en la figura 2.4, fabricados con Los procedimientos tradicionales para la compactación de mezclas asfálticas (Discutido en la sección de Mezclas Asfálticas), solamente teniendo el cuidado de cortar las superficies que son muy irregulares de tal manera que se puedan obtener caras paralelas.

**Figura 2.4-** Extracción de testigos de campo.

La falla típica de una probeta sometida al ensayo de RTI esta representada en la figura 2.5, donde claramente se observa que la probeta comienza con grietas donde los esfuerzos de tensión son mayores, o sea en la fibra extrema superior e inferior de la probeta, de tal manera que la grieta progresa a medida que aumenta la carga hasta producir la falla. Normalmente a 25° C el comportamiento de falla se puede decir que es dúctil ya que, si se observa el progreso de las grietas durante el ensayo se puede observar como lentamente se forma la grieta hasta que se unen las dos puntas y se produce la falla, pero por el contrario a 5° C la falla presenta un comportamiento conocido como frágil, ya que la probeta falla repentinamente con poca oportunidad de observar las grietas, e inclusive algunas veces con un efecto que puede ser descrito como explosivo ya que la probeta se fractura tan rápidamente que las dos mitades se separan expulsando partículas de agregado alrededor, recordándonos la importancia de utilizar equipo de seguridad como lentes protectores para ejecutar este y cualquier ensayo. La descripción anterior no es nada rara si se relaciona con el hecho de que a mayor temperatura un asfalto presenta un comportamiento Visco-Elástico y cuanto más baja la temperatura el comportamiento es más Elástico que Viscoso. Lo anterior también implica que a menor temperatura la carga de rotura aumenta, lo cual se ejemplifica en el grafico 2.1, donde se dibuja el comportamiento típico de las graficas esfuerzo deformación de la RTI.

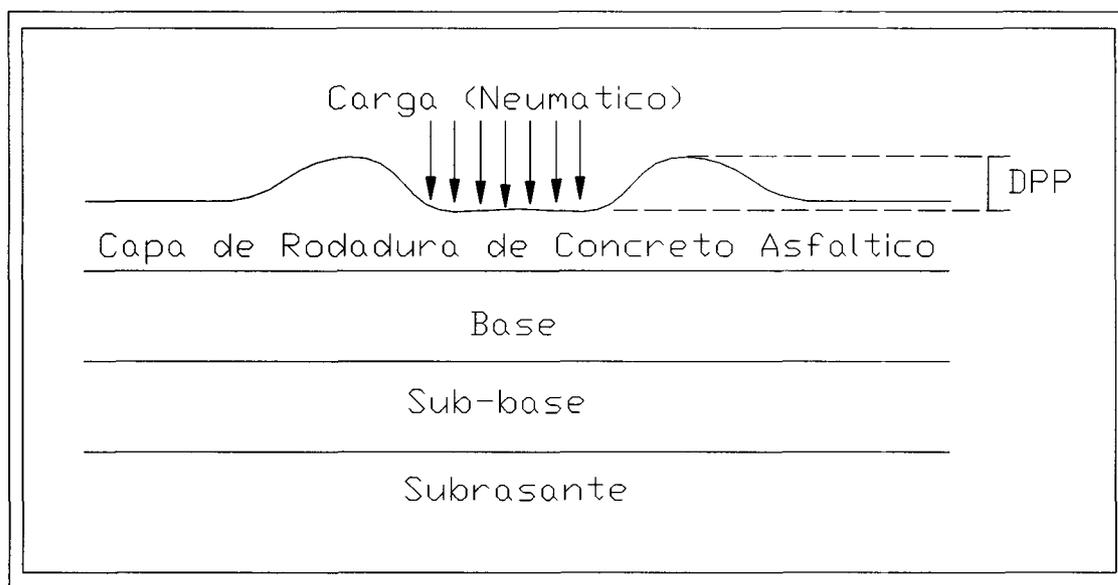
**Figura 2.5.-** Falla típica de una probeta sometida a RTI.**Gráfico 2.1.-** Gráfico de Esfuerzo-Deformación de la RTI a 5° C y 25° C.**Curva de Esfuerzo-Deformación Típica para RTI**

Adicionalmente se encontró que si este ensayo se realiza a temperaturas entre 5° C y 25° C el comportamiento de la falla es primordialmente elástico, lo que facilita la interpretación y reproducibilidad de los resultados [6]. Es por estas razones que se pretende utilizar este ensayo para determinar la calidad de las mezclas asfálticas modificadas.

## 2.2 DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Dentro de las fallas comunes en los pavimentos asfálticos de las calles y carreteras nacionales, se encuentran las Deformaciones Plásticas Permanentes (DDP-Rutting), las cuales se pueden atribuir a la presencia de cargas pesadas en carriles de baja velocidad, largos periodos de carga de los autobuses en zonas de ascenso y descenso de pasaje, empleo de cementos asfálticos blandos y con contenidos de asfalto altos, mala compactación de las mezclas por no tener la temperatura adecuada en campo, práctica común de los asfalteros para obtener mayores espesores con menos volumen de mezcla, granulometrías deficientes, etc.

**Figura 2.6.-** Esquema de Deformación Plástica Permanente (DPP).



En la figura 2.6, se puede observar una representación gráfica de una DPP; es importante notar que este tipo de falla es asociada solamente a la capa de rodadura, por lo cual fallas estructurales referentes a la base, sub-base o subrasante, no son el enfoque de un Ensayo de Pista. El comienzo de los Ensayos de Pista modernos se puede decir que fue entre 1958 -60 cuando la AASHO desarrollo su famoso "Road Test". A grandes rasgos, se construyó un circuito por el que se hicieron pasar diferentes tipos vehículos

para monitorear el comportamiento del pavimento, lo que derivaron en métodos de diseño y evaluación de pavimentos [6]. Durante los ochenta diversas universidades y Departamentos de Transporte (DOT), comenzaron a simular en laboratorio y pistas de prueba este tipo de ensayos para simular y predecir la DPP. A continuación se presentan una breve lista de algunos de los equipos disponibles:

**1.- Evaluator of Rutting and Stripping in Asphalt Pavements (ERSA) de Challenge Technology:**

Consiste en un sistema equipado con un par de llantas que simulan la carga de un neumático, a través de pesas en la parte superior y está habilitada para condiciones de prueba en seco y húmedo, para muestras cortadas en campo o fabricadas en laboratorio por algún medio de compactación [7].

**2.- The Texas Mobile Load Simulator (TxMLS):**

Fue desarrollado en la Universidad de Texas en Austin, el cual consiste en un sistema de llantas montados sobre un riel elevado con forma de circuito oval, que aplica cargas sobre un pavimento real construido bajo condiciones conocidas [8].

**3.- Georgias Loaded Wheel Tester (LWT) o Asphalt Pavement Testing (APA):**

Este aparato evalúa las DPP de concretos asfálticos, aplicando un esfuerzo a través de una rueda cargada bajo condiciones de carga repetitivas de 1 ciclo por segundo (2 pasadas) a 40.6 ° C y mide la deformación inducida en la línea de aplicación. La rueda es metálica cóncava, aplica la carga de 445 N, a través de una cámara neumática con presión de 0.7 MPA. Las muestras son de 3Cm. x 7.5Cm x 38.1Cm., esta máquina a evolucionado hasta el punto de poder evaluar especímenes de 4” montados en un sistema de sujeción por pares. Menos de 7.6Mm. después de 8000 ciclos (4 Hrs.) es considerada una mezcla adecuada. [6]

**4.- Ensayo de Máquina de Pista (España):**

Este ensayo se efectúa con una rueda de 200Mm. de diámetro y 50Mm. de ancho, la cual cargada aplica una presión de 7 Kg./Cm<sup>2</sup>. que rueda sobre una muestra de mezcla asfáltica de 30Cm. x 30Cm. La

temperatura del ensayo es de 60° C y se efectúa durante un lapso de tiempo de 120 minutos, durante el cual se registran las profundidades de rodera [4].

5.- **Hamburgo Wheel Tracking:** Esta máquina europea, funciona con una llanta de metal que aplica una carga de 705 N a una temperatura inmersa en agua de entre 30 – 65 ° C. a una velocidad de 1 ciclo por segundo, en muestras de 25Cm. x 28Cm. con espesores variables de entre 6 – 9Cm. Mezclas con profundidad de rodera, menores de 4Mm. después de 20,000 (6 Hrs.) ciclos son consideradas satisfactorias [6].

6.- **Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC):** Desarrollada en Francia, este sistema aplica una carga de 5000 N por medio de una rueda neumática inflada con una presión de 0.6 MPA, a una muestra de 50Cm. x 18Cm. con espesores de entre 2 – 10Cm., con temperaturas variables de entre 35 – 60° C y a una velocidad de 1 ciclo por segundo. Una profundidad de rodera aceptable es equivalente a menos de 10% del espesor de la muestra de mezcla asfáltica después de 30,000 ciclos (9 horas) [6].

7.- **ITESM-Ensayo de Pista:** Este equipo fue diseñado y construido en ITESM Campus Monterrey, en la Tesis de Armando Quintanilla Ávila bajo la dirección del Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez. Este sistema evalúa la susceptibilidad de mezclas asfálticas a la DPP en una muestra de 5x15x30cm compactadas cinco minutos con un sistema de vibración y posteriormente con un marco de carga se le imparte una compresión de 20 Ton en 5 minutos. Después, se coloca en un horno a 60° C durante un periodo de 4Hrs. y se transporta a la máquina de pista donde es fijada a un móvil que sujeta el espécimen, se cierra la cámara y se espera 15 minutos a que se establezca la temperatura, posteriormente se ajusta el extensómetro y se aplica una presión de 7Kg./cm<sup>2</sup>, por medio de pesas (Ver figura 2.7).

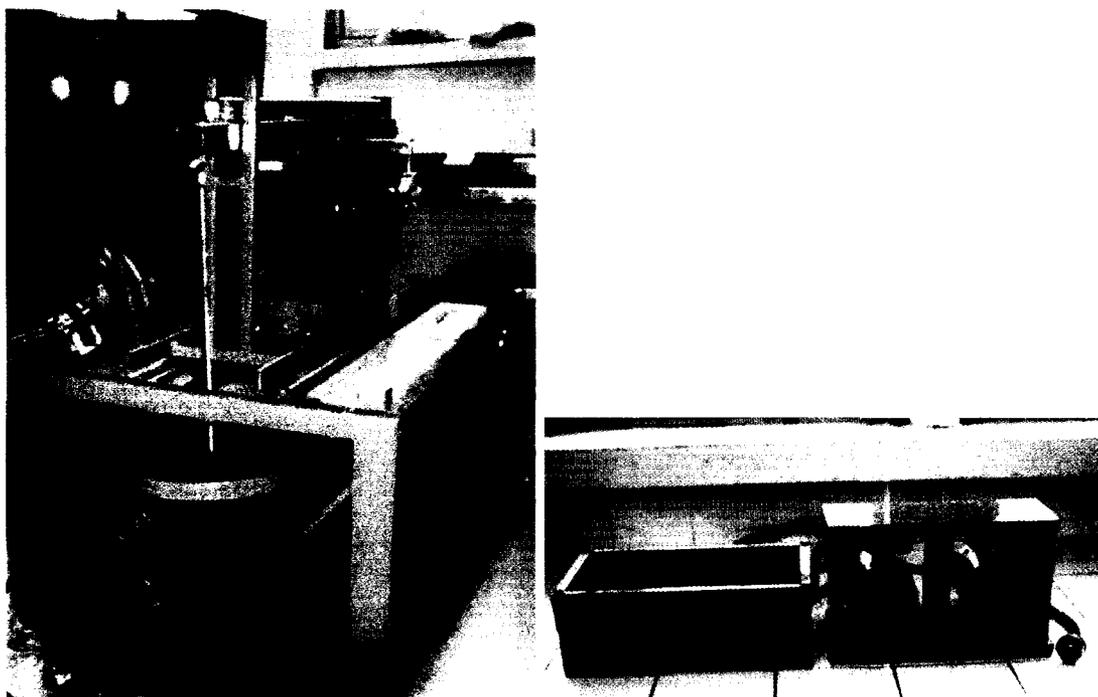
Una vez realizado lo anterior, se enciende la máquina con una frecuencia de 42 pasadas por minuto, ignorando las primeras tres pasadas y contando el tiempo a partir de ésta, tomando lecturas de las deformaciones al minuto 1,3,5,10,15,20,25,30,35,40,45 y 60 . Se grafica el número de pasadas en el eje “x” y la profundidad de rodera en el eje “y” (Ver

---

grafico 2.2). Para efectos de la evaluación de lo resultados se considera la siguiente clasificación después de 60 minutos (2,520 ciclos):

- Rodería Aceptable: 5mm.
- Rodería Crítica: 5.1mm – 10mm.
- Rodería de Falla: 10.1mm – 15mm.

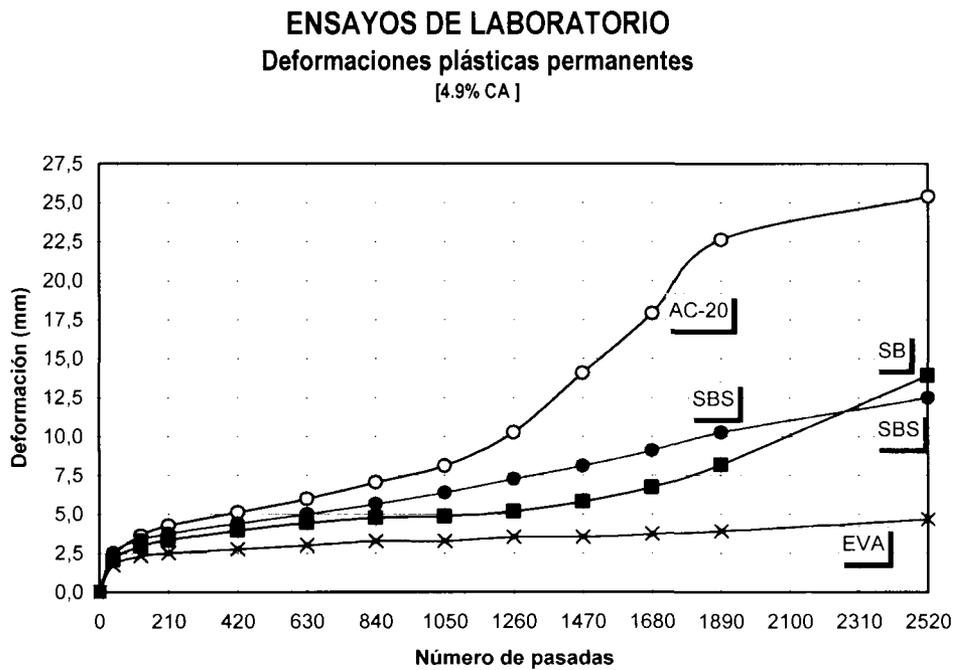
**Figura 2.7.- Máquina de Pista.**



Este tipo de ensayos son conocidos también como Pruebas Aceleradas de Pavimentos y se recomiendan para revisar diseños de mezclas asfálticas, ya que una vez determinado el contenido óptimo de asfaltos se fabrican un par de probetas para evaluar la susceptibilidad de la mezcla a las DPP y con los criterios de rodería descritos anteriormente se puede realizar un predicción del desempeño de la mezcla. Lo cual aborda a un problema, ya que es conocido que la dosificación de mezclas por el método Marshall normalmente sobreestima el contenido óptimo de las mezclas resultando en DPP tempranas en la vida útil del pavimento [6]. Lo que nos indica poder controlar la calidad de las mezclas asfálticas en cuanto a su susceptibilidad a las DPP, inclusive

pudiendo labrar especímenes de carpeta tendida y compactada con maquinaria pesada. Adicionalmente, este estudio se puede utilizar para formular combinaciones de granulometrías y diferentes asfaltos, para evaluar cual tiene el mejor comportamiento [10].

**Gráfico 2.2.- Resultados de Ensayo de Pista.**



Es relevante comentar que posterior a la Pista de prueba de la AASHO, este tipo de pruebas a seguido en uso, uno de sus ejemplos es el TxMLS, la MnRoad, West Track, Manege de Fatigue, La prueba de pista de la Universidad de Nottingham y el circuito Shell-Ámsterdam, por mencionar algunos. Las deformaciones permanentes también pueden ser evaluadas por medio de equipos triaxiales y uniaxiales, estáticos y dinámicos.

### 2.3 PSEUDO MÓDULO

El Pseudo Modulo es un parámetro que se determina para las mezclas asfálticas a partir de la curva de esfuerzo deformación de la prueba de RTI y se puede interpretar como una medida de la rigidez de la mezcla. El cálculo para determinarlo parte de la siguiente formula:

$$PM = \frac{P_{max}/2}{\Delta/2}$$

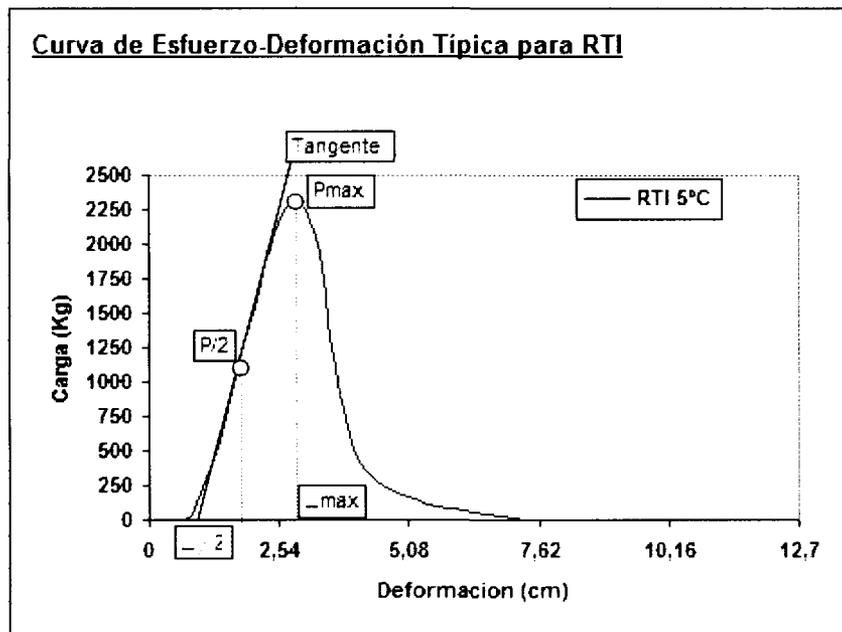
Donde:

PM = Pseudo Modulo (Kg/cm.)

P<sub>max</sub> = Carga máxima de rotura, (Kg)

Δ/2 = Deformación en la carga P<sub>max</sub>/2, (cm)

Gráfico 2.3.- Determinación del Pseudo Modulo.



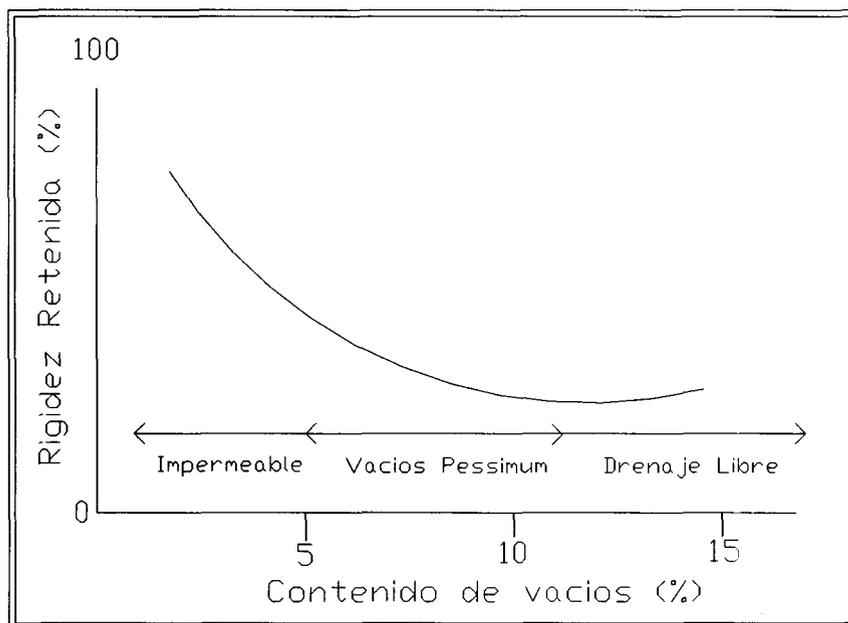
En el gráfico 2.3 se puede observar el método para determinarlo, que consiste en sacar una l tangente, lo mas apegada posible a la trayectoria de la curva, donde esta línea intercepte el eje de las “x” se toma como el punto de inicio de  $\Delta$ . Y Pmax, se toma como el punto donde se registra la carga máxima de rotura, de tal manera que dividiendo la anterior entre dos se obtiene P/2. Y por ultimo se traza una línea horizontal con origen en el eje de las “x” y que intercepte el punto P/2, midiéndose la deformación  $\Delta/2$  en Cm. Con los parámetros determinados se procede a realizar la división y se determina el PM. Es importante mencionar que este parámetro se debe reportar incluyendo la temperatura de la prueba.

## 2.4 EFECTO DE INMERSIÓN

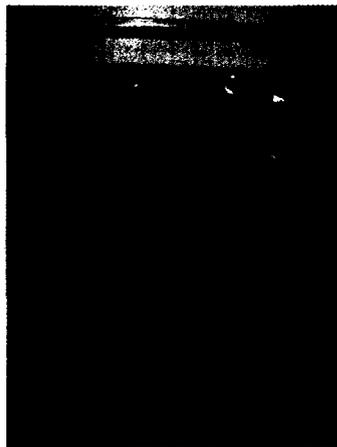
Es conocido que los pavimentos flexibles son afectados por los fenómenos climáticos del entorno donde están colocados, principalmente por las lluvias, manifestando los defectos de construcción dentro de los pavimentos, formando lo que comúnmente se conocen como baches. Una de las principales funciones del pavimento flexible es proteger la capa que se encuentra por debajo, impidiendo entre otras cosas que el agua penetre y erosiones la base, sub-base e inclusive la subrasante. Es por esto que ha sido considerado por los ingenieros de pavimentos que es básico contar con una simulación de laboratorio, que te permita evaluar que tan susceptible es una cierta mezcla a el efecto de humedad. Es por esto, que investigadores como Richardson publicó en 1908 sus descubrimientos acerca de la susceptibilidad de los concretos asfálticos, desarrollando métodos que incluían someter a cilindros de mezcla a corrientes de agua circulante. Posterior a esto, diversas investigaciones fueron realizadas alrededor del mundo, pero no fue hasta 1940 que se desarrollo un estudio ampliamente aceptado, que es el conocido ensayo de Inmersión-Compresión (ASTM D1075) de Pauls y Rex y en 1970 el ensayo de Lottman (AASHTO 283), comentado en la sección 2.1. Durante el desarrollo de todos estos métodos de pruebas, fundamentalmente se descubrió que la relación de vacíos en la mezcla es el principal factor que hace que una mezcla sea susceptible a los efectos del agua, ya que entre mas vacíos hay mas espacios donde el agua puede infiltrarse, debilitar y provocar fallas en el pavimento que dan como resultado fallas estructuras de los caminos. Mas recientemente en los ochentas el Strategic Highway Research Program (SHRP) desarrollo el Sistemas de Condicionamiento Ambiental (SCA) que consiste en monitorear el Modulo Resiliente (MR) de especimenes a los que se les mide la permeabilidad, aplica carga a diferentes ciclos y temperaturas en vacío húmedo, midiendo en MR después de cada condición y ciclo. De este estudio resulto los que se conoce como Concepto Pessimum de vacíos, que se puede observar en el gráfico 2.4, que básicamente corrobora el hecho que entre mas porosa este una mezcla se incrementa la susceptibilidad a las humedad y entre menos vacíos o impermeable este una mezcla menos afectada por el agua [6].

La inconveniencia del SCA y de muchos otros equipos es que es un equipo muy caro, por estas razones para la simulación de inmersión que se estudio en los tratamientos previos a la RTI fue solamente un procedimiento sencillo derivado del Lottman, que consisten en sumergir en un baño de agua pastillas a 60° C por 24 Hrs., retirarlas y dejarlas escurrir por 24 Hrs. a 25° C y en ciertos casos meterlas posteriormente a una cámara térmica por 24 Hrs., a 5° C (Ver figura 2.8), para después ser ensayadas.

**Gráfico 2.4.-** Concepto Pessimum de vacíos [6].



**Figura 2.8.-** Cámara térmica con control de temperatura.



## **2.5 ENSAYO MARSHALL**

Bruce Marshall fue un ingeniero civil, del cuerpo de ingenieros de la marina de Estados Unidos, que durante la Segunda Guerra Mundial desarrollo un método para dosificar mezclas asfálticas, debido a la ausencia de metodologías y la creciente necesidad de aeropuertos para la nuevas generaciones de aeroplanos. En la misma época se desarrollaron los métodos de Hveem y la prueba triaxial [6].

El diseño desarrollado a probado no ser el mejor por no simular adecuadamente las condiciones de carga y sobre estimar el contenido de asfalto llevando a deformaciones plásticas excesivas, pero tiene la ventaja de ser sencillo de aplicar y los costos del equipo para desarrollarlo son económicos, comparadas con las nuevas tecnologías disponibles en el mercado. Por estas razones desde principios de 1950 cuando se adquirieron estos equipos en México, han sido los que prevalecen en los laboratorios técnicos de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, tanto como los laboratorios de la industria.

En la actualidad existen diferentes métodos para la dosificación de mezclas desarrollados por agencias como la Stratigic Highway Reasearch Program (SHRP) en los Estados Unidos y apunta a ser la nueva tecnología para ser introducida a nuestro país, pero debido a los altos costos de los equipos, el diseño Marshall sigue prevaleciendo.

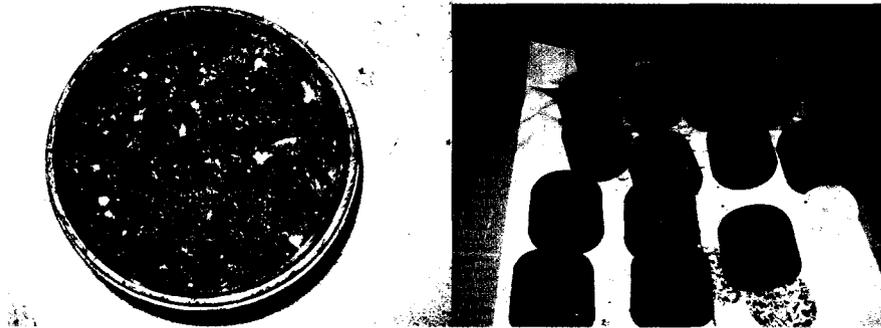
El diseño Marshall consiste en fabricar probetas de mezclas asfálticas con una granulometría dada, en donde lo que se pretende determinar es el contenido de asfalto (C.A.) optimo para la mezcla asfáltica. En otras palabras, la granulometría es constante y la variable es el C.A. de asfalto. Para lograr esto se fabrican lotes de 2 o 3 probetas con porcentajes de asfalto que varían entre 3 a 6 % con diferenciales de 0.5%.

Para fabricar cada Pastilla (Ver figura 2.9) es necesario compactarlas y la manera de hacerlo es impartiendo impactos con un martillo Marshall, el cual cae a una altura estándar de 457.2mm con un peso de 4.536Kg. Para cada tipo de mezcla se imparte diferentes golpes por cara:

Mezcla densa: 75 golpes por cara.

Mezcla abierta: 50 Golpes por cara.

**Figura 2.9.-** Probetas fabricadas por el método Marshall.

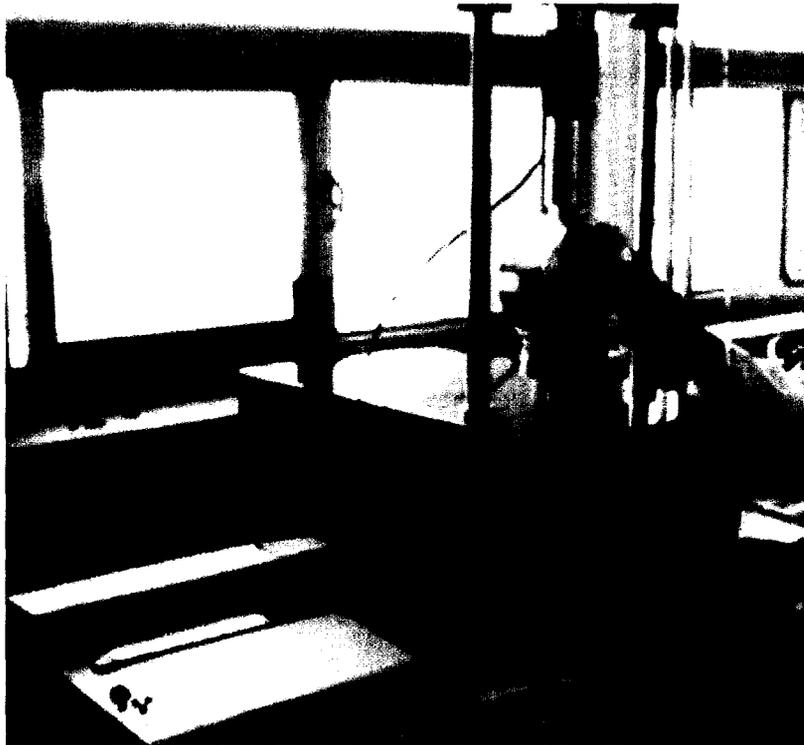


Este tipo de compactación es otra de las desventajas del método, ya que no simula las condiciones reales de compactación en campo y no permite granulometrías con tamaños mayores a 1", debido a que fractura los agregados. Una vez fabricada la probeta se determina su densidad y se sumerge 30 minutos en un baño de agua a 60° C para simular una condición de trabajo adversa y posteriormente se inserta en la mordaza Marshall y se ensaya la pastilla como se observa en la figura 2.10.

Para determinar el contenido óptimo de C.A. se utilizan cinco criterios, descrito a continuación:

Estabilidad Marshall (Kg.): Se define como la resistencia mecánica máxima de una probeta Marshall, ensayada con carga perimetral impartida por el movimiento de una placa circular a razón de 2.54cm/Min. La lectura tomada de la celda de carga, se debe corregir, por la altura promedio o volumen.

Figura 2.10.- Probetas ensayada en un estabilómetro Marshall.



Densidad Marshall ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): Se define como la relación de peso entre volumen de una probeta Marshall determinada por alguno de los métodos descritos en el capítulo 3 apartado 3.8.

Relación de Vacíos (%): Se define como el espacio libre en una mezcla asfáltica ocupado por el aire. Se determina de acuerdo al porcentaje de vacíos que se requiera en la mezcla siguiendo el siguiente lineamiento:

Mezcla densas	3 a 5 %
Mezclas Semi-densas	6 a 12%
Mezclas Abiertas	13 a 22%

Vacios en el Agregado Mineral (VAM): Se define como los espacios libre ocupado por el aire una granulometría dada, los cuales van a ser ocupados por el asfalto y los restantes contribuirán a la relación de vacíos. Para cada tipo de mezcla existen recomendaciones:

Mezcla densas	13 a 15 %
Mezclas Semi-densas	15 a 17%
Mezclas Abiertas	17 a 22%

Flujo Marshall (Mm.): Se refiere a la distancia medida por la fuerza aplicada y la deformación que presenta la probeta Marshall. Se traza una línea tangente de la parte lineal de la curva de Estabilidad Marshall vs. mm/min y se mide la distancia donde la línea tangente intercepta el eje de las “x” y el punto de estabilidad máxima, registrando la distancia en mm. A continuación se presentan valores típicos:

Mezcla densas	4 a 6mm.
Mezclas Semi-densas	6 a 8mm.
Mezclas Abiertas	10 a 12mm.

Con estos cinco parámetros se realiza un ensayo Marshall y para determinar el contenido óptimo de asfaltos se promedian los valores de los siguientes criterios de acuerdo a la práctica común dentro de los laboratorios de pavimentos:

Densidad Marshall: Se selecciona el porcentaje de asfaltos con la más alta densidad.

Estabilidad Marshall: Se selecciona el porcentaje de asfalto con la más alta estabilidad.

Relación de vacíos: Se selecciona un porcentaje de asfalto que este dentro de la relación de vacíos requerida dependiendo del tipo de mezcla.

Seleccionados estos tres valores se determina el promedio y es considerado como el Contenido Óptimo (C.O) de asfalto. Los otros dos parámetros de VAM y Flujo Marshall

---

---

son de carácter restrictor, una vez determinado C.O. se utiliza para revisar que con ese contenido de asfalto, la mezcla cumple con la norma en cuanto VAM y Flujo. Si la mezcla tiene VAM por abajo del mínimo se necesita cambiar la granulometría por una mas abierta, y si esta por arriba del máximo, se buscara una granulometría mas cerrada. Y si el Flujo Marshall esta por arriba del máximo, se necesita un asfalto que proporcione más rigidez a la mezcla, por decir, cambiar de una AC-20 a un AC-30 o AC-20 Modificado.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS**

En esta capítulo, se presenta una descripción de los materiales empleados en la elaboración de la probetas utilizadas, definiciones de lo que son los cementos asfálticos convencionales, modificados, mezclas asfálticas y los materiales pétreos.

#### **3.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS CONVENCIONALES**

El betún o asfalto es el material de construcción mas viejo conocido por el hombre y era utilizado como cementante, adhesivo e impermeabilizante, la evidencia de esto se encuentra en la cultura Sumeria, donde la industria naval de los años del 6000 A.C., producían y utilizaban asfalto natural en la construcción de navíos. No se tiene record exacto cuando se origino el sinónimo de betún o bituminosa, a asfalto. Se cree que el termino Bitumen en ingles fue una traducción del francés, teniendo su origen en el latín 'qwu-tu-men' que se refiere a pegamento o 'pitu-tu-men' que significa pegamento burbujeante, la posterior traducción del termino Bitumen al castellano derivo en Betún [12].

En un principio el asfalto era utilizado mayormente en las partes donde se encontraban depósitos naturales de donde se podía extraer el producto que afloraba a la superficie, como es el caso del asfalto del lago de Trinidad. Este asfalto era utilizado para los

cascos de las embarcaciones y para impermeabilizar viviendas. A mediados del siglo XIX se comenzó a aplicar la roca de asfalto en Europa para pavimentar caminos. En los primeros años del siglo XX en los Estados Unidos se realizó el primer proceso de refinación del petróleo crudo y dando como resultado el primer asfalto refinado. La invención del automóvil y la fuente de producción de asfalto relativamente barato creó la necesidad e impulsó la industria de los pavimentos. Para 1902 EU produjo 18,000 Toneladas en la actualidad se producen alrededor de 30 millones de toneladas [12].

El 85% de los asfaltos utilizados en la industria, se aplican en forma de pavimentos flexibles en aeropuertos y carreteras, los cuales tienen un grado de penetración entre 35-300 dmm. El 15% restante es utilizado en impermeabilización, recubrimientos, pinturas, etc., diferenciándose del utilizado para la construcción de pavimentos, por ser oxidado y más duro [12].

Los Asfaltos convencionales o también conocidos como ligantes bituminosos, son producidos en refinerías. Un asfalto químicamente se puede definir como una estructura compleja de hidrocarburos conteniendo Carbono en un 82 – 88%, Hidrogeno de un 8 – 11%, Oxígeno de un 0 -1.5%, Azufre de un 0 – 6%, Nitrógeno de 0 – 1%. Y contiene cuatro tipos de moléculas principales:

1.- Asfáltenos: Moléculas sólidas, amorfas y polares de color negro o café, con un peso molecular alto de entre 1 000 – 100 000. Con tamaños de partículas entre 5 nm – 30 nm. Y son responsables de mejorar la viscosidad de los componentes, constituyendo del 5 – 25% de un asfalto.

2.- Resinas: Moléculas sólidas o semisólidas y polares de color café oscuro, con un peso molecular de 500 – 50 000. Con tamaños de partículas entre 1nm – 5nm. Son conocidas como el agente dispersor para los asfáltenos.

3.- Aromáticos: Moléculas no polares de color café oscuro líquido viscosas, con un peso molecular de 300 – 2000, constituyendo del 40 – 65 % de un asfalto.

---

4.- Saturados: Moléculas no polares visco – aceitosas de color blanco. Responsables de la textura aceitosa constituyendo un 5 – 20% de un asfalto [12].

Los cuatro tipos de moléculas anteriores componen la estructura básica de un ligante bituminosa. Se pueden definir como una dispersión de asfáltenos en maltenos, siendo estos últimos los saturados, aromáticos y resinas. Gordon Airey en una de sus anotaciones de clase, describe a la estructura de los asfaltos con una analogía de un caldo de verduras, donde las zanahorias están representadas por los asfáltenos, las resinas como la pimienta, los saturados como el aceite y los aromáticos como el caldo de pollo. Interpretándose como que los asfáltenos se encuentran dispersos dentro de un medio fluido que son los aromáticos y están sazonados con los saturados y resinas.

Dentro del comportamiento del asfalto es ampliamente conocido como un material visco elástico altamente dependiente de la temperatura. Esta definición hace referencia a las propiedades constitutivas del asfalto o su reología. Los asfaltos presentan tres tipos de comportamiento de acuerdo a la temperatura a la que se encuentran. En temperaturas de entre 5° C, o menores se comporta como un material elástico y frágil. En temperaturas intermedias en 6 a 60° C, se comporta como un material visco elástico. A temperaturas mayores a 60° C, el material se comporta como un fluido viscoso. Siendo esta última característica lo que hace posible que se envuelva y mezcle adecuadamente con los agregados minerales para producir mezclas asfálticas. Para evaluar y clasificar a los asfaltos de acuerdo a su reología o propiedades visco elásticas es necesario utilizar ensayos de laboratorio descritos en la siguiente sección.

### 3.2 CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS CONVENCIONALES.

Dentro del pliego de normas especificadas en nuestro país por la SCT se describen límites máximos o mínimos a cumplir por los asfaltos convencionales para poder validar su uso y conocer su susceptibilidad a la temperatura y así como posibles deficiencias del mismo. Pero debido a que no existe un solo ensayo que pueda clasificar a un asfalto midiendo todas sus propiedades. La norma N-CMT-4-05-001/00 Calidad de materiales asfálticos exige las siguientes pruebas para caracterizar la reología de un asfalto:

M-MMP-4-05-002 Viscosidad Dinámica de cementos Asfálticos: Mide la viscosidad del asfalto en poises, tomando el tiempo que le toma a una muestra de asfalto en avanzar de un punto a otro en un tubo capilar al vacío a una temperatura de 60° C.

M-MMP-4-05-005 Viscosidad rotacional Brookfield de cementos asfálticos: Mide la viscosidad del asfalto a altas temperaturas haciendo rotar un elemento con geometría conocida y midiendo la resistencia a rotar una vez inmerso en el asfalto, se realiza a una temperatura de 135° C y 170° C. Esta prueba permite identificar a que temperatura es adecuado mezclar el asfalto con los agregados.

M-MMP-4-05-006 Penetración en cementos y residuos asfálticos: Esta prueba mide la consistencia o viscosidad del asfalto a temperaturas normales típicamente a 25°C, mediante la penetración que produce una aguja de peso y tiempo estándar.

M-MMP-4-05-007 Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos: Esta prueba mide el punto donde el asfalto presenta flamas instantáneas, con el objeto de determinar a que temperaturas es peligroso calentar el asfalto o detectar si presenta disolvente como gasolina o diesel por imperfecciones en el procedimiento refinación.

M-MMP-4-05-009 Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos: Esta prueba la temperatura en que un asfalto cambia de estar en un estado sólido viscoso a un líquido viscoso.

M-MMP-4-05-010. Prueba en el residuo de la película delgada de cementos asfálticos: Esta prueba consiste en someter 50 gr., de asfalto por 5 horas en un horno de convección a 163° C, con objeto de simular la oxidación que presenta el asfalto al ser calentado y mezclado con lo agregados en una planta de producción. Después de realizar esta prueba se determina la pérdida de masa y se realiza nuevamente la prueba de penetración y punto de reblandecimiento para observar como cambian las propiedades del asfalto.

M-MMP-4-05-011 Ductilidad de cementos y residuos asfálticos: Esta prueba mide que tan elástico es un asfalto, preparando una muestra de forma trapezoidal conocida y estirándola hasta producir la fractura, tomando una lectura en centímetros. Esta propiedad se relaciona con la habilidad del asfalto a deformarse bajo una carga constante.

Como se puede ver los ensayos marcados por las normas mexicanas, cumplen con el objetivo de evaluar las propiedades de visco elásticas del asfalto a diferentes temperaturas. Es ampliamente reconocido que estas propiedades evalúan la susceptibilidad a la temperatura de una forma empírica, ya que cada ingeniero con experiencia en la materia interpreta los resultados de cada una de las pruebas de acuerdo a experiencia de manejo con los materiales. Es por esto que las autoridades responsables de esta materia en los Estados Unidos desarrollaron los nuevos ensayos donde se elimina el factor empírico dentro del programa de pavimento superiores SUPERPAVE. Los cuales no se discuten aquí por ser muy extensos y tema de otra investigación. Adicionalmente en las normas correspondientes se puede encontrar a detalle las descripciones de los procedimientos y equipos estandarizados para realizar estas pruebas.

### 3.3 REFINERIAS EN MEXICO

En nuestro país la producción de asfaltos es totalmente nacional. No se importa ningún tipo de asfalto de alguna otra región, lo único que se importa de otras regiones del mundo, son los modificadores y aditivos de estos.

La producción de asfaltos a grandes rasgos es definida como la doble destilación del petróleo crudo. En la primera destilación se separa las fracciones más ligeras del petróleo crudo, resultando en gasolina, diesel, nafta, etc. En la segunda destilación se extraen aceites y lubricantes, y el residuo que queda de estas dos operaciones es el asfalto convencional. El asfalto es a veces referido como un desecho del proceso de producción de petróleos y derivados. Posterior a este tratamiento se puede manejar otros procesos en el asfalto para endurecerlo por medio de oxidación para modificar sus propiedades reológicas. En nuestro país la producción de asfaltos la realiza la empresa PEMEX refinación propiedad del gobierno federal. Existen en México cinco refinerías de petróleo donde se producen asfaltos denominados asfalto convencional con una viscosidad cinemática de 20 000 poises o AC-20 y AC-5, en otros países es posible encontrar asfaltos con viscosidades de entre 5000 poises y 60 000 poises. Las cinco refinerías de petróleo crudo que producen asfalto encontradas en el territorio nacional se enlistan a continuación.

- 1.- Cadereyta, Nuevo León.
- 2.- Madero, Tamaulipas.
- 3.- Tulancingo, Hidalgo.
- 4.- Salamanca, Guanajuato.
- 5.- Salina Cruz, Oaxaca.

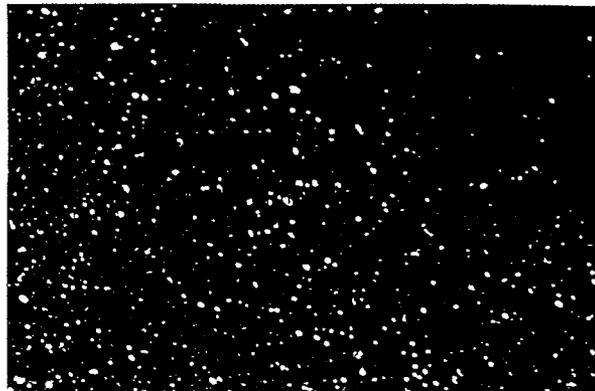
### 3.4 CEMENTOS ASFALTICO MODIFICIADOS

Los asfaltos modificados con polímeros (AMP) empleados en la pavimentación de carreteras, son materiales relativamente nuevos, la primera patente acerca de modificación de asfaltos con polímeros sintéticos y naturales se otorgo a Thomas Hancock en Gran Bretaña en 1843. Los primeros tramos de prueba se construyeron en Europa en 1930 y en Estados unidos en 1950 [14], encontraron un mercado estable y pequeño en Canadá y el oeste de los Estados unidos. Pero no fue hasta 1970 que en Europa las autoridades responsables de los sistemas carreteros identificaron la innovación de los asfaltos modificados y promovieron su utilización. Los fabricantes de los asfaltos convencionales vieron con buenos ojos esta innovación ya que representaba una razón para incrementar el costo de los asfaltos.

Los AMP están constituidos generalmente por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por un asfalto convencional. Típicamente los polímeros se adicionan a un asfalto en concentraciones bajas de alrededor de 0.5% a 3.5% ya que como se puede ver en la figura 3.1 un polímero debe encontrarse disperso en el asfalto para mejorar sus propiedades, porque si de lo contrario se agregaran concentraciones mas altas, por ejemplo el que se puede ver en la figura 5 con una concentración del 8% se invierten las fases y el asfalto se encuentra disperso en el polímero resultando en un material con propiedades no aptas para pavimentos.

La adición de estos elementos a los asfaltos, modifica su comportamiento, reduciendo principalmente la susceptibilidad a la temperatura y mejorando elasticidad. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

**Figura 3.1.-** Fase continua y dispersa de asfaltos a diferentes concentraciones de polímeros.

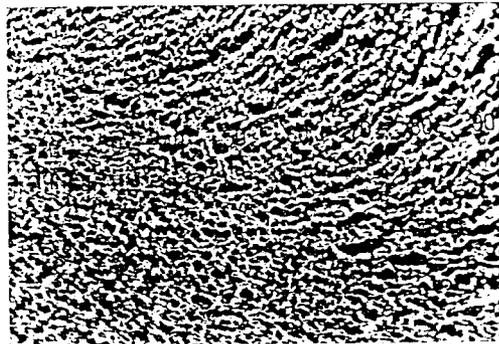


Fotografía 1

BETUN 4 % SBS

Fase continua= betún

Fase dispersa= polímero



Fotografía 2

BETUN 8 % SBS

Fase continua= polímero

Fase dispersa= betún

Por estas razones se han modificado y adaptado nuevos ensayos para determinar las peculiaridades en su comportamiento. Principalmente desarrollando métodos analíticos capaces de identificar en la mayoría de los casos, el tipo y contenido de polímero incorporado y por ende controlar la composición del ligante asfáltico. Pero a su vez también se han identificado nuevas problemáticas con esta tecnología, ya que ciertos polímeros son incompatibles con el asfalto y algunos presentan problemas de almacenamiento, ya que al ser calentados por periodos de tiempo largos, el polímero tiende a separarse y formar natas en los tanques de almacenamiento, convirtiéndolo en un asfalto convencional nuevamente.

En general los principales polímeros utilizados en materiales asfálticos se dividen en dos grupos:

1.- Elastómeros.- Estos se pueden describir como hules termoplásticos, con una alta capacidad para estirarse y encogerse. Sus moléculas típicamente están formadas por bloques de copolímeros, homopolímeros en dos dimensiones, de procedencia natural o sintética. Este tipo de polímeros mejoran la rigidez y respuesta elástica del asfalto beneficiando la capacidad a resistir deformaciones permanentes y aumentan el espesor del recubrimiento de los agregados mejorando la durabilidad de las mezclas asfálticas. Ejemplos de estos polímeros son: Estireno-Butadieno-Estireno (SBS), Estireno-Butadieno (SB), Látex natural (LN), etc.

2.- Plastómeros.- Se describen como polímeros termoplásticos, rígidos con enlaces tridimensionales. Incrementan la viscosidad y rigidez de los betunes, pero no mejoran sus propiedades elásticas. Tiene la ventaja de incorporarse y ser compatibles con la mayoría de los betunes. Ejemplos de estos polímeros son: Etil-Vinil-Acetato (EVA), Polietileno (P), Cloruro de Polivinilo (PVC), etc.

### 3.5 CARACTERIZACION DE CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS.

Las propiedades reológicas de los AMP se evalúan generalmente mediante los ensayos convencionales empleados para caracterizar los ligantes bituminosos, es decir: penetración, punto de reblandecimiento, ductilidad y viscosidad a varias temperaturas. En general la incorporación de un polímero a un asfalto produce una disminución de la penetración y un aumento del punto de reblandecimiento, variando en función del tipo y contenido de polímero. Las viscosidades de los AMP son generalmente superiores a las de un betún de similar penetración, lo que supone el empleo de mayores temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas fabricadas con estos ligantes. Lo que indica que los AMP tienen una menor susceptibilidad térmica. Las ductilidades son generalmente mayores que las que presentan asfaltos convencionales de similar penetración, esto significa que los AMP tienen mayor capacidad de deformarse sin rotura a bajas temperaturas. Adicionalmente este tipo de asfaltos presentan una característica que los hace superior a los convencionales llamada elasticidad, pudiéndose interpretar como la recuperación de deformación de un elemento después de aplicársele una carga.

La normas establecidas por la SCT en nuestro país, determina las pruebas a realizarse para caracterizar a los asfaltos modificados bajo la norma N-CMT-4-05-002 Calidad de Materiales Asfálticos Modificados. Requiriendo las mismas pruebas que los asfaltos convencionales pero con diferentes límites y las siguientes pruebas adicionales:

M-MMP-4-05-022 Separación, diferencia anillo y esfera en cemento asfáltico modificado: En esta prueba coloca una muestra de asfalto modificado en un horno a 163° C, por 48 horas, evaluando la diferencia entre el punto de reblandecimiento en la parte superior e inferior de la muestra, para asegurar que el polímero no se separe del asfalto. Simula el comportamiento del asfalto modificado al ser almacenado en tanques.

M-MMP-4-05-024 Recuperación elástica por torsión en cemento asfáltico modificado: Una muestra de AMP se le aplica una fuerza de torsión por medio de un vástago y

observando cuanto se recupera este vástago en referencia con su posición inicial. Evaluando la respuesta elástica del material.

M-MMP-4-05-023 Recuperación elástica en ductilómetro: Esta prueba evalúa la elasticidad del material, utilizando la misma geometría de la prueba de ductilidad, pero aquí solo se estira 20 Cm. la muestra y se corta a la mitad, y se mide cuanta distancia se recupera los hilos en referencia con los 20 Cm. iniciales.

Las pruebas descritas anteriormente son una forma excelente de comprobar la correcta incorporación de un polímero en un asfalto convencional, pero también están sujetas al factor empírico, debido a que las condiciones a las que realizan la prueba, solo son de referencia y no simulan adecuadamente el comportamiento real. Una descripción completa de los equipos y procedimientos estandarizados se encuentra en las normas correspondientes.

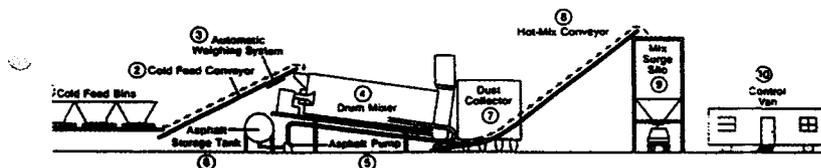
### 3.6 PRODUCCIÓN Y CONSTRUCCION DE MEZCLAS ASFALTICAS

El asfalto no es un producto nuevo, ha estado presente en el mundo por miles de años desde tiempos antes de cristo. Pero no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se creo la industria del asfalto y su mayor progreso se realizo en el siglo XX, realizando avances en la mecanización y automatización de la producción y construcción de mezclas asfálticas.

En la actualidad existen dos tipos de plantas producción de asfaltos en México:

1.- Producción continua: La característica principal de este tipo de planta como su nombre lo indica es que continuamente producen la mezcla asfáltica seleccionada. Esta se realiza por medio de la utilización de tambores de mezclado evitando el uso de cribadoras de material en caliente y aspas de mezclado. El correcto proporcionamiento de la granulometría se realiza por medio del control de la cantidad de material que aporta cada tolva. En la figura 3.2 se puede observar un ejemplo típico de este tipo de plantas.

**Figura 3.2.-** Esquema de una planta asfalto de producción continua [13].



A continuación se presenta una breve descripción de las partes de la planta:

1.- TOLVAS O SILOS: Aquí se depositan los materiales a ser incorporados en la mezclas para cumplir con la granulometría de diseño, típicamente se cuenta con tres o cuatro tolvas.

2.- BANDAS TRANSPORTADORAS EN FRÍO: Se definen como bandas de neopreno donde a través de las cuales el material es transportado a la mezcladora de tambor. Se denomina en frío ya que los materiales se encuentran a temperatura ambiente y no son sometidos todavía a ningún proceso de calentamiento.

3.- BALANZA AUTOMÁTICA: Sistema utilizado para corroborar que se esta introduciendo el peso necesario de los agregados.

4.- MEZCLADORA DE TAMBOR: Tiene la función de calentar los agregados a temperaturas que oscilan entre 160° C y 190° C dependiendo del tipo de asfalto a utilizar, y mezclarlos con el asfalto seleccionado.

5.- BOMBA DE ASFALTO: Utilizada para bombear la cantidad de asfalto a incorporarse a la mezcla del tanque de almacenamiento.

6.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ASFALTO: Aquí se resguarda el asfalto típicamente, cuando la planta no esta en uso se mantiene a una temperatura de entre 60 y 80° C. Cuando la planta esta en uso se calienta a la temperatura recomendada por el fabricante para que el asfalto desarrolle una viscosidad satisfactoria para ser bombeado y mezclado con los áridos.

---

7.- COLECTOR DE POLVO: Aquí se recolectan los polvos que típicamente están presentes en los agregados, para evitar polvaderas y reutilización del material en algunos casos.

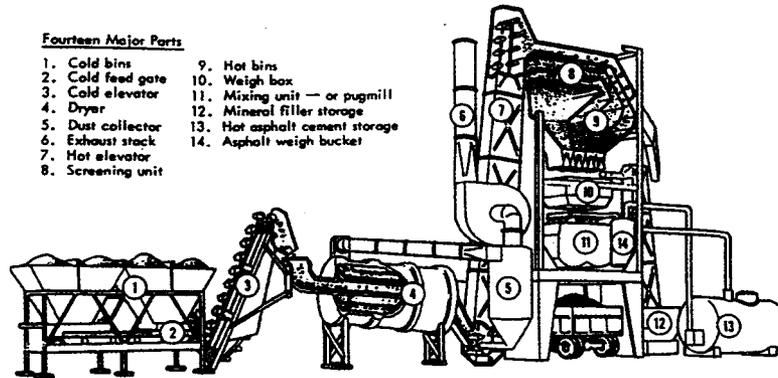
8.- BANDA TRANSPORTADORA EN CALIENTE: tiene la función de transportar la mezcla asfáltica producida en caliente para ser depositada en el medio de transporte.

9.- SILO DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL: Sirve de resguardo para la mezcla producida, evitando que se pierda lo menos que se pueda de temperatura, mientras los camiones de transporte son cargados.

10.- CABINA DE CONTROL: Aloja el cuarto de controles electrónicos y censados de toda la planta.

2.- Producción por Bacha: Este tipo de plantas se caracterizan se diferencian de las plantas anteriores porque se producen mezclas asfálticas por partes que varían entre 250 Kg. y 5000 Kg. donde el los materiales a utilizarse, como los agregados y cantidad de asfalto son previamente pesados y seleccionados para cumplir con las granulometrías y cantidades optimas de asfalto dictadas por el diseño. De tal manera que cada vez que se necesite producir mas mezclas es necesario volver a cargar con maquinaria las tolvas que alimentan la planta así como la cantidad de asfalto. Básicamente funciona como un tazón donde se arrojan los materiales necesarios para realizar la mezcla. En la figura 3.3 se puede ver una esquematización de una planta de bacha.

**Figura 3.3.-** Esquema de una planta de Bacha [13].



A continuación se presenta una breve traducción y descripción de las partes de la misma:

- 1.- TOLVAS: Se utiliza para almacenar los agregados a utilizar.
- 2.- COMPUERTAS DE ALIMENTACIÓN: Se utilizan para permitir la salida de material de acuerdo a las proporciones calculadas.
- 3.- ELEVADOR EN FRÍO: cumple con la función de transportar el material al horno de secado.
- 4.- HORNO DE SECADO: Cumple con la función de secar completamente los áridos así como de calentarlos a la temperatura adecuada para ser mezclados.
- 5.- COLECTOR DE POLVOS: Capta los polvos provenientes de los materiales para evitar polvaderas.
- 6.- CAMPANA DE SALIDA: Sirve para evitar el vacío dentro del colector de polvos.

7.- ELEVADOR EN CALIENTE: Transporta el material previamente calentado para ser tamizado.

8.- TAMIZ: Cumple con la función de asegurarse que los entren en la mezcla los tamaños de agregados especificados en el diseño desechando los que no cumplan.

10.- BASCULA: Sirve para pesar y asegurarse se esta incorporando la cantidad correcta de agregados, antes de ser mezclados con el asfalto.

11.- MEZCLADOR DE ASPAS: Unidad utilizada para mezclar los agregados y el asfalto para producir la mezcla asfáltica deseada.

12.- DEPÓSITO DE FINOS: Material fino a veces incorporado a mezclas asfálticas, pueden ser arcillas, cemento, etc.

13.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ASFALTO: Aquí se resguarda el asfalto típicamente cuando la planta no esta en uso se mantiene a una temperatura de entre 60 y 80°C.

14.- BÁSCULA DE ASFALTO: Aquí se pesa la cantidad de asfalto a ser incorporada a la mezcla.

Como se puede observar los dos tipos de plantas cumplen con el mismo objetivo de producir mezclas asfálticas, cada una teniendo su ventaja y desventaja de acuerdo al uso que se requiere. Por ejemplo una planta de producción continua tiene la desventaja de desperdiciar las primeras dos o tres toneladas de la producción porque el tambor de mezclado tarde en adquirir la temperatura deseada pero tiene la ventaja de poder producir mas rápidamente mezcla asfáltica por ser continua la producción. En contraste una planta de bacha no desperdicia el material porque solo se incorpora al mezclador, el

---

material a utilizarse y puede permanecer en el horno de secado el tiempo necesario para adquirir la temperatura deseada, y tiene la versatilidad de poder cambiar constantemente de tipo de mezcla asfáltica, pero tiene la desventaja de tener una producción lenta, por tener que incorporar al mezclador los materiales necesarios para cada mezcla. Pero para fines de la calidad de la mezcla asfáltica la planta de bacha permite un mejor control de calidad, sin embargo los dos tipos de planta cumplen con el objetivo de producir mezcla.

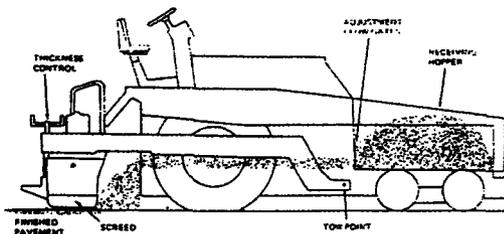
Tender y compactar la mezcla asfáltica es la operación a la cual apunta la producción de asfaltos comentada anteriormente. Los agregados han sido seleccionados y combinados; se realizó un diseño de la mezcla; la planta mezcladora y su equipo auxiliar ha sido instalado, calibrado e inspeccionado para asegurar su correcto funcionamiento; todos los materiales son mezclados y deben ser llevados a la máquina denominada pavimentadora.

Las mezclas asfálticas son llevadas al sitio de trabajo en tractocamiones de 7 a 30 m<sup>3</sup>, aproximadamente y son puestos directamente en los depósitos de recepción de la pavimentadora. Una vez realizada esta operación la pavimentadora extiende la mezcla a un ancho y espesor, típicamente en anchos de 3.5 a 4 metros y espesores de no más de 10 Cm., mientras la máquina avanza en una dirección. Al realizar esta maniobra la extendidora compacta parcialmente la mezcla. Inmediatamente después de esta operación mientras la mezcla se encuentra caliente, un compactador de rodillos metálicos y/o un vibrador móvil son pasados arriba de la carpeta extendida, compactándola hasta obtener la densidad deseada, regularmente de 95 al 100% de acuerdo al diseño. Cabe mencionar que la temperatura a la que se extiende o compacta la mezcla es un factor crítico para la calidad de la capa de rodadura, ya que si la mezcla está muy fría a la hora de realizar la operación de extendido y compactado el material no llega a cumplir las densidades requeridas ya que se endurece, esta práctica muchas veces es adoptada por los constructores, ya que con menos volumen de material se pueden obtener los espesores del proyecto. Y de lo contrario si la mezcla está demasiado caliente cuando el material es extendido y compactado este no mantiene la estructura deseada y puede desmoronarse, es por esto que seguir las temperaturas recomendadas de tendido y compactado es un factor crucial para el acabado de la superficie de rodadura.

---

En la Figura 3.4 se puede ver un esquema de una pavimentadora típica, esta consiste básicamente en una unidad tractor y el mecanismo o plancha de tendido. La unidad tractor la fuerza para el movimiento de la maquinaria sobre el camino. Esta incluye una planta de poder, receptor de mezcla, bandas transportadora interna, así como un centro de control y asiento para el operador. La mayoría de estas maquinas cuentan con un sistema dual, que permite al operador sentarse a cada extremo de la maquina. El mecanismo o plancha de tendido, tiene la función de esparcir, compactar parcialmente y planchar la mezcla asfáltica mientras la maquina avanza. Este mecanismo es el responsable de fabricar una capa de rodadura lo más regular y plana posible. El espesor y ancho de la carpeta a ser tendida es ajustado en esta parte de la maquinaria.

**Figura 3.4.-** Pavimentadora típica [13].

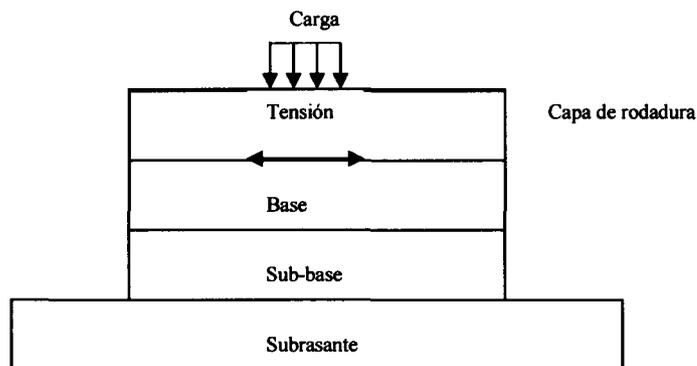


En lo que se refiere al tipo de superficie de rodamiento construida se encuentran en el mercado tres tipos de superficies descritas brevemente a continuación:

**FLEXIBLE:** Superficies construidas con la capa de rodamiento a base de mezclas asfálticas con tamaño de agregado máximo de  $\frac{3}{4}$ " , de las cuales se puede identificar dos tipos general: 1) Mezclas Asfálticas Convencionales (MAC). 2) Mezclas Asfálticas Modificadas (MAM). Estas dos últimas son las del objeto de este estudio. Esta estructura

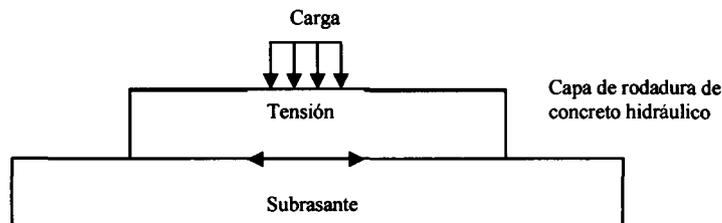
se encuentra representada en la figura 3.5, donde se puede ver, una subrasante; típicamente materiales con poco Valor Relativo de Soporte, sub-base; materiales hidráulicos o triturados con VRS de 80 a 100%, y base: materiales hidráulicos, triturados o mezclas asfálticas con tamaño máximo de agregado de 1" a 2".

**Figura 3.5.- Estructura de Pavimento Flexible.**

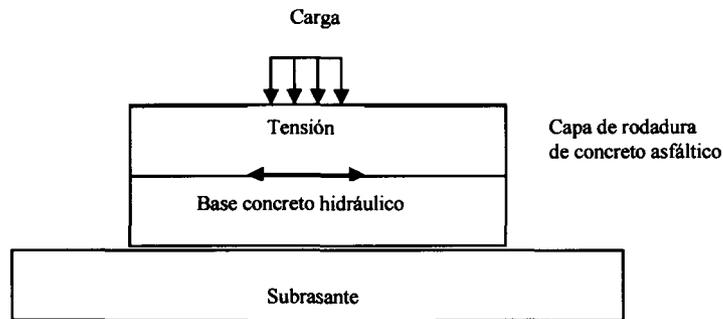


**RÍGIDO:** Superficies construidas con capas de rodamiento y base en concretos hidráulicos en espesores de 10 a 30 Cm., colocados sobre la subrasante.

**Figura 3.6.- Estructura de Pavimento Rígido.**



**RÍGIDO-FLEXIBLE:** Un híbrido de las dos anteriores, siendo el concreto hidráulico la base y la mezcla asfáltica la capa de rodamiento.

**Figura 3.7.- Estructura de Pavimento Rígido-Flexible.**

El objetivo principal de las estructuras anteriores, es proporcionar a los usuarios de los caminos, una superficie regular sobre la que se puede transitar, reduciendo los costos de operación del vehículo y de transportación de mercancías o personas. Lo que se puede interpretar en que si una superficie de rodamiento no tiene la regularidad adecuada, aumenta el tiempo de transporte y el daño a los vehículos si esta muy deteriorada. Es por eso que surgió la necesidad, de sobre las rutas o caminos rurales, disponer de una estructura que proteja adecuadamente la subrasante o el terreno natural de las cargas impuestas por los vehículos, buscando que con estas estructuras se distribuyan las cargas y se protejan los caminos de la intemperie por periodos de vida de entre 5 a 30 años en teoría, para tener comunicadas a las poblaciones. De las tres estructuras descritas anteriormente, no se puede decir, que existe una mejor que la otra, porque cada una tiene ventajas sobre otra, pero lo que siempre se busca que sea una opción viable en cuanto a la disponibilidad de los materiales adecuados para la construcción de la misma y que sea técnica y económicamente solvente.

A grandes rasgos estos son los procedimientos y clasificación de la construcción de capas de rodamiento a base de mezclas asfálticas. La calidad en el acabo, la mezcla asfáltica, los materiales involucrados y el sistema constructivo es conocido en la industria de la construcción como un sistema 1 x 1 x 1 x 1 x 1, donde cada uno indica calidad en cualquiera de las partes de la construcción y materiales, de tal manera que si uno de estos tiene calidad de 0.5 el resultado del trabajo tiene una calidad de 0.5.

### 3.7 Mezclas Asfálticas

En la construcción de una carretera, las mezclas asfálticas (MA) en caliente constituyen las capas con mayores exigencias dentro de la estructura del pavimento. Hay muchas fases involucradas y actividades diferentes que entran en el proceso de construcción. Su elaboración, colocación y terminación son procesos complicados donde interviene muchos factores que afectan la calidad final de la capa. Las MA que forman estas capas se elaboran con áridos y ligantes asfálticos, que respetan prescripciones y dosificaciones determinadas con objeto de conseguir características estructurales y funcionales requeridas en un pavimento flexible para garantizar su durabilidad durante el periodo de diseño y a la vez, ofrecer seguridad y comodidad al usuario de la carretera. Estas propiedades se consiguen y determinan a través de la estabilidad, resistencia a las deformaciones plásticas, resistencia a la fatiga, impermeabilidad, que dependen de la dosificación y las características de los materiales empleado.

La aplicación más frecuente de las MA es en las vías de comunicación, se utilizan como capas de rodadura, intermedias y de base, principalmente se caracterizan por:

- La calidad de los áridos: Limpieza, resistencia mecánica.
- La viscosidad y reología del ligante: Convencional o modificado.
- Una granulometría con tolerancias de variabilidad definidas: De acuerdo al tipo de carga a resistir.
- La calidad de la mezcla: Compacidad, homogeneidad y calidad de la envuelta.
- Comportamiento: Estabilidad, resistencia a deformaciones plásticas, tensión y fatiga.
- Calidad como capa de rodadura: Coeficiente de fricción, textura, comodidad, regularidad.

Adicionalmente las MA en caliente se clasifican por el porcentaje de vacíos presente después de la compactación, y de acuerdo a la norma N-CMT-4-05-003 Calidad de mezclas asfálticas para carreteras, se clasifican en dos tipos:

---

- Mezcla asfáltica de granulometría Densa: Se caracteriza por presentar un porcentaje de vacíos que varía entre el 3 y 9%, dependiendo de la categoría del tráfico pesado que soporte la capa y de la ubicación de la misma en el firme. Son las más empleadas en capas de rodadura, puesto que su bajo porcentaje de vacíos las vuelve casi impermeables.

- Mezcla asfáltica de granulometría Abierta: Su porcentaje de vacíos supera el 12%, la estructura formada adquiere la resistencia mecánica por fricción interna. Tiene la característica de permitir evacuar el agua de lluvia rápidamente al utilizarlas como capas de rodadura. Difieren de las mezclas cerradas en que su granulometría esta formada por un bajo contenido de agregados finos para alcanzar la permeabilidad y suelen utilizarse asfaltos modificados para proporcionar mayor durabilidad.

Con el fin de comprender un poco más los conceptos involucrados principalmente en la calidad las mezclas asfálticas la Dra. Adriana Martínez lo resumen en 7 breves descripciones:

**Rigidez:** Relación entre tensión y deformación a una temperatura dada.

**Estabilidad:** Resistencia a la deformación permanente.

**Durabilidad:** Resistencia a los efectos climáticos como el aire y el agua, así como la acción abrasiva del tráfico.

**Resistencia a la fatiga:** Habilidad de la mezcla a flexionar repetidamente sin romperse.

**Resistencia a la fisuración:** Resistencia de la mezcla a la fisuración por tensiones inducidas por el tráfico.

**Resistencia al deslizamiento:** Capacidad de la mezcla para proveer un adecuado coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento bajo condiciones húmedas.

**Permeabilidad:** Capacidad del aire, agua o vapor de agua para moverse dentro y a través de la mezcla.

Cabe mencionar que la diferencia entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada, radica en la adición del polímero al asfalto. Todo el sistema de clasificación y evaluación de características antes mencionadas se realiza en los mismos términos. En cuanto el procedimiento constructivo y de fabricación solamente se afecta en que las temperaturas de mezclado y compactado se elevan mas de acuerdo al tipo de polímero. Y las resistencias mecánicas de las mezclas modificadas generalmente son superiores a la de las mezclas convencionales.

### 3.8 DENSIDAD

La densidad es uno de los parámetros más utilizados para describir las características de una mezcla, ya que con esto se puede identificar si se compacto adecuadamente una mezcla. Dependiendo del grado de compactación que tenga la mezcla muchas de sus resistencias mecánicas se ven reducidas, como son la RTI, la Estabilidad Marshall y la resistencia a las Deformaciones Plásticas Permanentes. A continuación se presentan tres formas de evaluar en laboratorio la densidad de muestras de mezclas asfáltica.

1.- Densidad Aparente ( $\text{gr/cm}^3$ ): Se miden tres alturas en centímetros con dos cifras decimales, en puntos equidistantes en la circunferencia de la probeta y se determina su altura promedio. Se pesa, registrando el peso de la pastilla en gramos con una precisión de dos decimales. Dividiendo el peso entre el volumen se determina la densidad aparente.

2.- Densidad por inmersión ( $\text{gr/cm}^3$ ): Se pesa la probeta una vez fabricada y después se cubre la probeta totalmente con estearato de zinc, para prevenir que el agua entre por las oquedades, se amarra de un hilo a la pastilla y se sumerge en agua y registra el peso, en ambos pesos se toman lecturas en gramos con precisión de dos decimales. Para calcular la densidad, se divide su peso seco entre la diferencia del peso superficialmente seco y el peso inmerso en agua, el peso del estearato de zinc se desprecia.

3.- Densidad con la muestra saturada y superficialmente seca- D SSS (NLT-168/90): En este procedimiento se pesa la probeta en seco y posteriormente se sumerge en agua por 5 minutos, registrándose su peso sumergido en agua a  $25^\circ\text{C}$ , como se ve en la figura 2.11, posterior a esto se seca superficialmente la pastilla y se registra su peso, de tal manera que si retiene mas del 2% de agua se necesita realizar el procedimiento con estearato de zinc, de lo contrario se determina su densidad, del cociente de su peso seco entre la diferencia del peso superficialmente seco y el peso inmerso en agua.

**Figura 3.8.-** Probetas con arreglo para determinar D SSS.  
(Falta cubeta con agua).



### 3.9 MATERIALES PETREOS

Los agregados pétreos se pueden definir como una material inerte, de diversos tamaños, lo suficientemente duros, para que al mezclarlos con algún cementante, formen un esqueleto o estructura capaz de soportar una carga. Los pétreos utilizados para mezclas asfálticas pueden proceder de dos fuentes principalmente, de los lechos de ríos y bancos de extracción de material. El material procedente de los lechos de ríos, por lo regular son de cantos redondeados, no adecuados para garantizar una trabazón por fricción en una mezclas, pero sometiéndolos a un proceso de trituración, pueden ser adecuados. Los materiales procedentes de bancos, son triturados totalmente por medios mecánicos, como son las trituradoras de quijadas, cono, etc., estos presentan una caras trituradas con aristas pronunciadas, que aseguran una buena estructura para la mezclas.

El origen de los agregados, tiene mucho que ver con las resistencias mecánicas que pueda tener el material y sus contaminaciones o debilidades. Por su origen pueden ser clasificados en tres grandes grupos:

1.- Rocas ígneas: Esta tipo de roca es producto de la solidificación del magma. Cuando este proceso ocurre sobre la superficie de la tierra, se les conoce como extrusivas, y cuando ocurre entre las capas de la tierra se les conoce como intrusitas. Las propiedades que llegan a desarrollar, dependen del los elementos contenidos en el magma, las condiciones de presión, temperatura de enfriamiento y gases o elementos circundantes. Estas se distinguen por sus colores y texturas particulares.

2.- Rocas Sedimentarias: Se componen de partículas de otras rocas y materiales, que con el tiempo se fueron desprendiendo de una roca mas grande, de tal manera que por efecto de meteorización o interperismo, se van reduciendo en tamaño y se van depositando en un lugar. Al pasar de los años con el aumento de las capas y el peso, se logran formar partículas sólidas, formando lo que se conoce como una roca sedimentaria. Se le conoce como clásticas cuando son formadas mecánicamente y no clásticas cuando son formadas químicamente. La roca caliza es un ejemplo de estas.

---

3.- Rocas Metamórficas: Son rocas que se transforman por medio de algún proceso geológico como puede ser, vulcanismo, gradación y diastrofismo. Dependiendo del proceso que afecta a la roca y la condiciones del entorno, resultan rocas con diferentes propiedades y colores, el ejemplo mas común de estas el mármol [10].

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

En lo que respecta con el objetivo general de la experimentación y el objetivo particular 1, se observó que con las pruebas de laboratorio de la RTI a 5°C y 25°C en seco y en húmedo realizadas sobre el AC-20 contra SB, SBS y EVA, no fue posible detectar la presencia de modificadores en las mezclas asfálticas. Lo anterior puede estar ligado al hecho que dentro de un pavimento la mayoría de la capacidad estructural esta ligado al esqueleto interno de la mezcla, el cual es proporcionado por el tipo de agregado y la granulometría, mientras que el asfalto brinda la cohesión a las partículas, y el variar el asfalto en esta mezcla no se ve claramente afectado por la RTI, sin embargo la DPP sí, como fue lo visto en todos los casos donde se utilizaron modificadores se disminuyeron las roderas en las mezclas.

En general, para poder llevar un control de calidad con la prueba de RTI, se encontró que si se evalúa la resistencia de la RTI a 5°C y 25°C, para el 100% de compactación de laboratorio y se varia el numero de golpes (75, 50, 35) en el procedimiento Marshall para fabricar probetas, la densidad varia y se puede encontrar la compactación al 95%, de tal manera que la RTI al 100% de la densidad sea el máximo pedido y la RTI a 95% sea el valor mínimo requerido, o en su caso los valores que se soliciten en el % de compactación del proyecto. Todo lo anterior de acuerdo al objetivo particular 2.

Las diferencia de los ensayos de RTI a 5°C y 25°C, demostró que el comportamiento de la mezcla es mas elástico a 5°C, que a 25°C, obteniendo diferencias de la RTI un poco superiores al 50%. Los valores a 5°C se encuentran en el rango de entre 20 – 30 kg/cm<sup>2</sup> y a 25°C entre 5 – 10 kg/cm<sup>2</sup>, para los resultados de laboratorio. También se observo que los valores del RTI obtenidos para estas mezclas, son bajos en comparación con los obtenidos por otros investigadores, lo que nos indica que esta mezcla no presenta buenas características de durabilidad y resistencia a la fatiga.

Lo que respecta al objetivo particular 3 y 4, se encontró que as densidades de las muestras saturadas y superficialmente secas (DSSS), fueron de gran utilidad para corroborar lo encontrado por la Dra. Adriana Martínez, que la RTI esta ligada a la densidad de la mezcla, ya que entre más densidad presente una mezcla la RTI tiende a subir, independientemente del tratamiento o temperatura de ensayo y tipo de asfalto. Se observo que en laboratorio con una densidad de 2.49 gr/cm<sup>3</sup> se obtenían valores de RTI a 5°C 23.87 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en campo se tenían valores de 2.34 gr/cm<sup>3</sup> con RTI a 5°C de 13.77 kg/cm<sup>2</sup>.

Con el objetivo particular 5, se identificó, que el PM y la RTI siguen un comportamiento o tendencia similar, ya que si la RTI baja, el PM también lo hace, pero no en la misma proporción. Esto se cumple para todos los tratamientos y temperaturas. Analizando un poco este hecho no es del todo extraño, ya que el PM se deriva de la curva de esfuerzo-deformación de la prueba de RTI, de tal manera que si uno aumenta la capacidad de carga, el PM y RTI se elevan.

De acuerdo al objetivo particular 6, el ITESM-Ensayo de Pista demostró ser una buena herramienta para determinar la susceptibilidad a las DPP en las mezclas asfálticas, identificando que en todas las muestras modificadas se mejora entre un 45-82% las profundidad de la rodera. Lo que nos hace tener un punto de vista más amplio de las características de una mezcla asfáltica y no sólo la RTI-PM-DSS.

Otro punto importante a observar en este estudio, es el Coeficiente de Variabilidad (CV), que se observa en todos los resultados de la RTI y las densidades, donde claramente se puede observar que el CV, en todos ensayos de laboratorio y campo-laboratorio se encuentra por debajo del 28%, indicándonos la uniformidad de los resultados obtenidos.

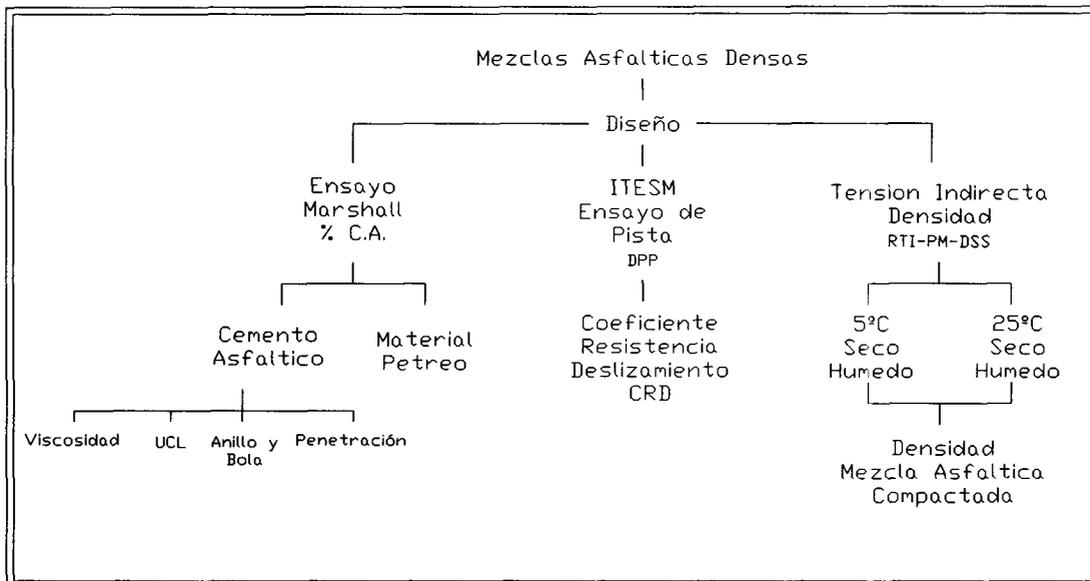
El % VM mostró estar relacionado con la RTI, ya que se encontró que cuando los vacíos aumentan la RTI decrece y viceversa. Lo anterior nos indica la razón por la que el tratamiento de inmersión no disminuyó la RTI, ya que se necesita un porcentaje de vacíos, superiores al 7% para mostrar una diferencia según otros investigadores.

En cuanto a la relación entre el %VM y la DSSS, se encontró que la densidad sube a medida que los vacíos decrecen.

En general, el ensayo de RTI a 5°C y 25°C en seco y húmedo, nos proporciona una alternativa muy eficaz para monitorear la calidad de las mezclas asfálticas, sean estas normales o modificadas, ya que las variaciones en la densidad y granulometrías son sensibles a esta prueba. Con esto se pueden establecer parámetros de diseño de la mezcla asfáltica que deberán cumplirse en la fabricación de la mezcla y en la construcción de la capa.

En el esquema 6.1, se encuentra resumido un procedimiento que puede utilizarse para llevar el control de calidad en la fabricación de mezclas asfálticas modificadas, partiendo de un ensayo Marshall para dosificar de mezclas asfálticas, seguido de una evaluación de las DPP, con el ITESM- Ensayo de pista y terminar con el control de la calidad puesto en obra con los valores de la RTI-PM a 5°C y 25°C en seco y húmedo, el cual tiene implícito un control de las densidades. Es importante mencionar, que la calidad de la mezcla no se puede monitorear con una sola prueba o variable, es necesario evaluar %VM, la densidad, la RTI, estabilidad Marshall y DPP, por lo menos, para poder asegurar la durabilidad y vida del pavimento.

Esquema 6.1.- Propuesta de Diseño.



## **6.2 RECOMENDACIONES PARA ESTUDIOS FUTUROS**

Para una investigación a futuro recomendaría, el volver a reproducir un escenario donde se tenga pruebas de laboratorio y de campo, pero utilizando un compactador giratorio para la fabricación de probetas, de tal manera que se pudiera estudiar la RTI a diferentes densidades y obtener una curva característica de la granulometría y la forma en que aumenta o decrece la RTI. Y evaluar dichos valores en los límites de los husos de la granulometría del proyecto y así funcionarían como límite máximo y mínimo, respectivamente, contrastados con los valores obtenidos de los testigos de campo.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

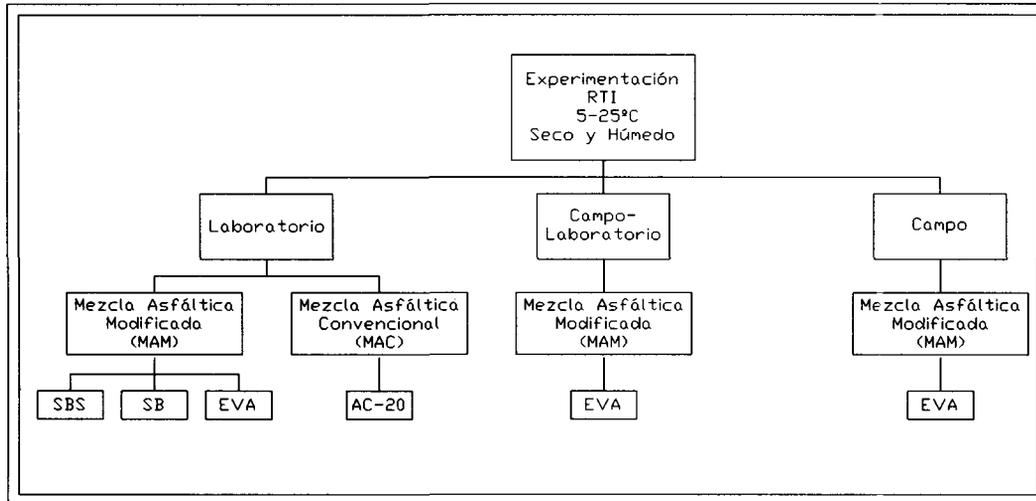
En el presente capítulo está descrito el plan de trabajo que se siguió para investigar experimentalmente el control de calidad de las mezclas asfálticas por medio de la RTI-PM a 5°C y 25°C, en seco y en húmedo, el ITESM-Ensayo de Pista y las densidades.

#### **4.1 PLAN DE TRABAJO**

El plan de trabajo de esta investigación se basó en una experimentación de laboratorio, campo-laboratorio y campo, en la cual de acuerdo a los objetivos de la tesis es controlar la calidad de las mezclas asfálticas modificadas. Para esto, como ya se comento anteriormente se seleccionaron los ensayos de RTI-PM a 5°C y 25°C, en seco y en húmedo, el ITESM-Ensayo de Pista y las densidades.

Como se puede ver en el esquema 4.1, que abarca la experimentación con la RTI y el PM, se subdivide en tres capítulos, dentro de estos capítulos forma otra división las MAC y MAM solo para el caso del laboratorio, donde lo que se busca es diferenciar estas mezclas por medio del ensayo de RTI-PM, a su vez definiendo los parámetros óptimos de RTI-PM y densidad, los cuales serán los ideales buscados en el trabajo de campo y campo-laboratorio.

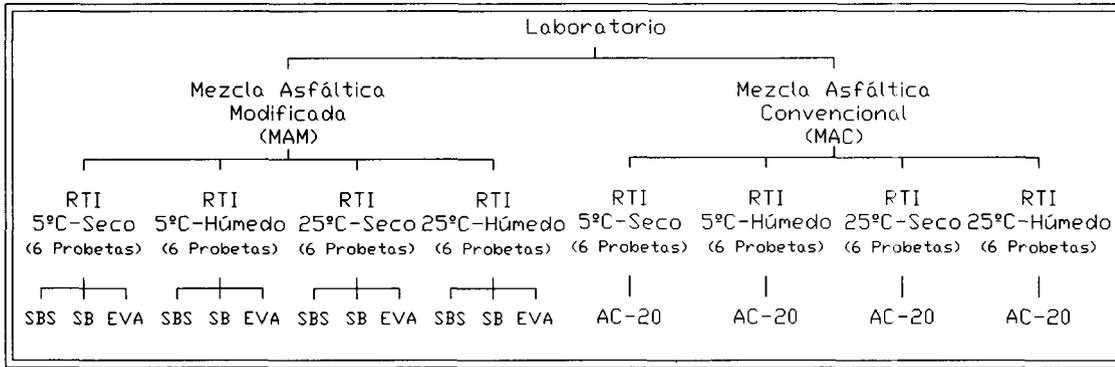
**Esquema 4.1.- Plan de trabajo de ensayos RTI-PM-Densidades.**



Dentro lo que se refiera a los dos capítulos restantes solo se estudiaron las MAM, por la razón que la obra “Rehabilitación del pavimento mediante estabilización de la base hidráulica, reforzamiento con sobre carpeta, de concreto asfáltico y suministro y colocación de señalamiento horizontal del Km 22+700 al Km 58+400 cuerpo izquierdo, de la autopista Monterrey-Nuevo Laredo”, donde se obtuvieron las muestras de campo se empleo asfalto modificado EVA, el SBS y SB utilizados para el laboratorio sólo fue para obtener un punto de comparación más amplio. La granulometría y contenido de asfalto utilizado para todos los ensayos fue el que se utilizó en la construcción de la obra. El ITESM ensayo de Pista sólo fue evaluado en muestras del Capítulo de laboratorio y campo-laboratorio.

4.2 LABORATORIO

Esquema 4.2.- Detalle de Ensayos de RTI-PM en Laboratorio.

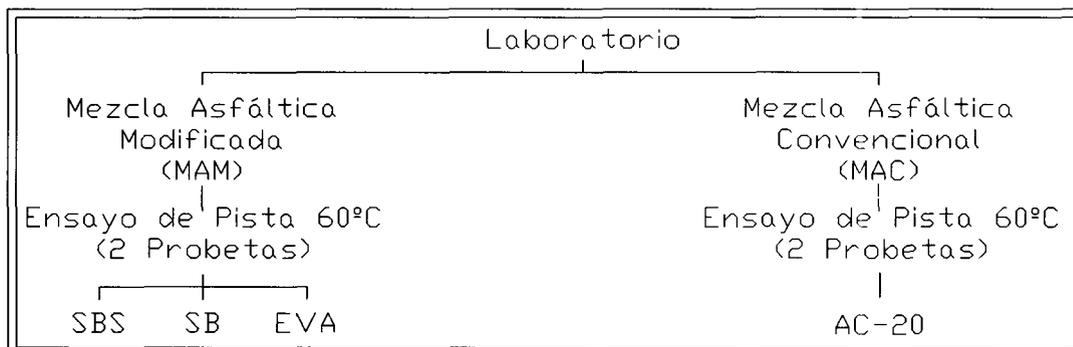


En la experimentación realizada en el laboratorio se fabricaron series de 24 probetas por el método Marshall estándar de 4" de diámetro, para los tres asfaltos modificados y para el convencional. De aquí como se puede ver en el esquema 4.2, 6 probetas fueron ensayadas a RTI 5°C-seco, 5°C-húmedo, 25°C-seco, 25°C-húmedo. Conociendo la curva de esfuerzo deformación de la RTI, se determinó el PM respectivo para cada condición y temperatura. Las densidades de la probetas fueron determinadas por el método de la densidad saturada y superficialmente seco, para poderlas comparar con lo testigos de campo. El ITESM-Ensayo de pista fue evaluado por duplicado para cada uno de los cuatro asfaltos empleados (Ver esquema 4.3). Los asfaltos modificados utilizados tenían los siguientes contenidos de polímero:

- SB: 3 %
- SBS: 2.5 %
- EVA: 1.5 % + 0.3 Ácido poli fosfórico

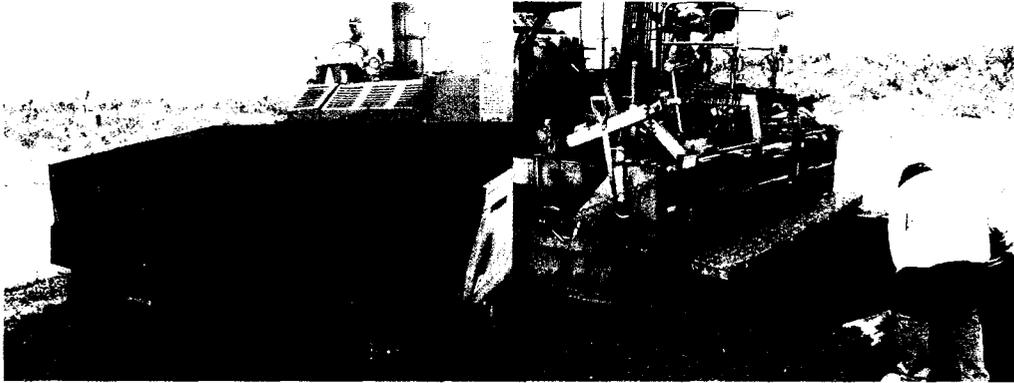
Los tipos de modificadores en los asfaltos y su contenido fue seleccionado de acuerdo a lo que se encuentra disponible comercialmente en la zona metropolitana de Monterrey.

**Esquema 4.3.- Detalle de Ensayos de Pista de Laboratorio.**



### 4.3 CAMPO-LABORATORIO

**Figura 4.1.-** Extendido de carpeta con Pavimentadora.



El muestreo de campo-laboratorio, consistió en muestrear carpeta asfáltica directamente del tendido en campo (Ver figura 4.1) y en la planta dosificadora de asfalto, de tal manera que se recogían 2 charolas con aproximadamente 20 kg cada una. Estas muestras eran llevadas al laboratorio de asfaltos del ITESM, y se calentaban en un horno (Ver figura 4.2) nuevamente a la temperatura de mezcla de 175°C, medida en la planta dosificadora, y se fabricaban 24 probetas Marshall de 4 “, con 1000 grs de carpeta asfáltica y se compactaban a 75 golpes por cara. Con el resto de la mezcla se fabricaban 2 probetas de ITESM-Ensayo de pista, con 5400 gr de mezcla.

**Figura 4.2.-** Horno de calentamiento de mezcla.



En total se tomaron 7 muestreos como se describen en la tabla 4.1. Se puede observar como los muestreos I y II fueron fabricados en campo, con equipo portátil (Ver figura 4.3), pero después de determinar las alturas promedio y densidades de estas probetas, se identifico que había poca homogeneidad, en las alturas y densidades de las probetas, debido a que en lo que se lograba compactar las 24 probetas de la serie, la mezcla se enfriaba, de tal manera que las primeras probetas tenían menos altura y mas densidad en relación con las ultimas. El muestreo PM-IV fue otra prueba donde se ensayo la alternativa de fabricar las probetas, en el laboratorio de la planta dosificadora, los resultados fueron buenos en cuanto a densidades y alturas.

**Tabla 4.1.- Detalle de Muestreos en campo.**

<b>Muestreo</b>	<b>CADENAMIENTO</b>	<b>FECHA</b>	<b>CANTIDAD (KG)</b>	<b>FABRICACION PROBETAS</b>
M-I	57+215	23-may-04	10	CAMPO
M-II	56+000	23-may-04	20	CAMPO
M-III	PUENTE	06-jul-04	30	LABORATORIO
M-IV	49+000	08-jul-04	17	LABORATORIO
PM-IV	PLANTA DOSIFICADORA	10-jul-04	30	PLANTA DOSIFICADORA
M-VI	47+600	14-jul-04	40	LABORATORIO
M-VII	46+500	16-jul-04	40	LABORATORIO
M-VIII	45+700	20-jul-04	20	LABORATORIO

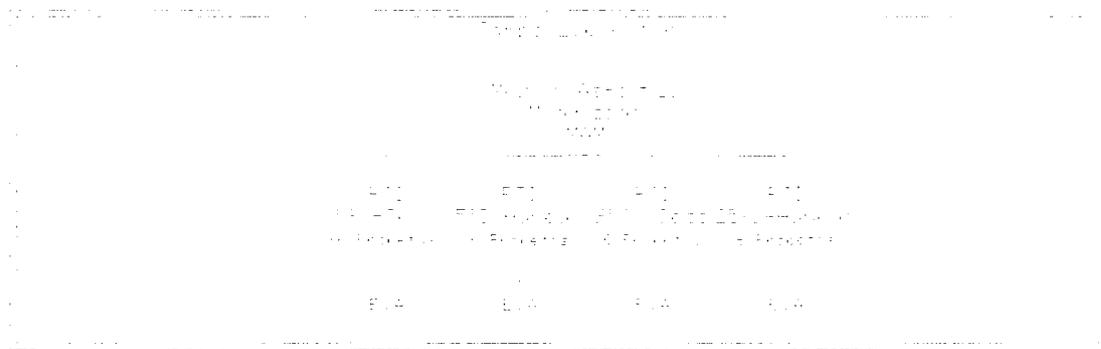
Debido a que el extendido de mezcla en campo no era constante y se dificultaba trabajar al mismo ritmo que la pavimentadora, se decidió que el procedimiento mas adecuado, seria llevar las muestras de mezcla al laboratorio y ahí fabricar las probetas, ya que con un ambiente controlado, básculas calibradas y compactación mecánica del martillo Marshall automatizada, se podría garantizar la homogeneidad, en las alturas y densidades de las probetas.

**Figura 4.3.-** Equipo de compactación Marshall de campo.

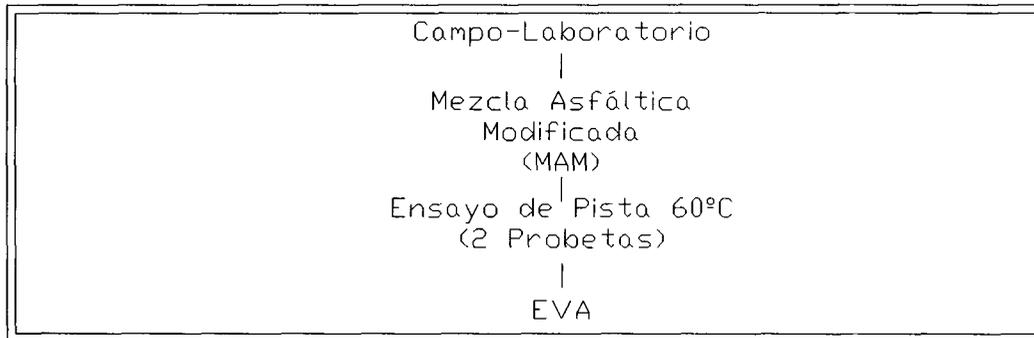


Al igual que los ensayos realizados en laboratorio se determinaron las densidades de todas las pastillas elaboradas y en el caso de las muestras I -II, III, VI y VII, se elaboraron probetas para el ITESM-Ensayo de pista, por duplicado. En el esquema 4.4 y 4.5 se puede ver representado las temperaturas y tratamientos de los ensayos.

**Esquema 4.4.-** Detalle de ensayo de RTI-PM en Campo-Laboratorio.



**Esquema 4.5.- Detalle de Ensayos de Pista en Campo-Laboratorio.**



#### 4.4 CAMPO

La experimentación de campo, se designó con este nombre, debido a que solamente se ensayaron corazones de carpeta extraídos con maquina perforadora con punta de diamante como se observa en la figura 4.5, dicha carpeta fue extendida con pavimentadora y compactados con rodillo liso Tandem de 20 Ton y Neumático de 9 llantas (Ver figura 4.4), a diferencia del procedimiento realizado en laboratorio con compactación por medio del martillo Marshall.

**Figura 4.4.-** Procedimiento de construcción del pavimento flexible.

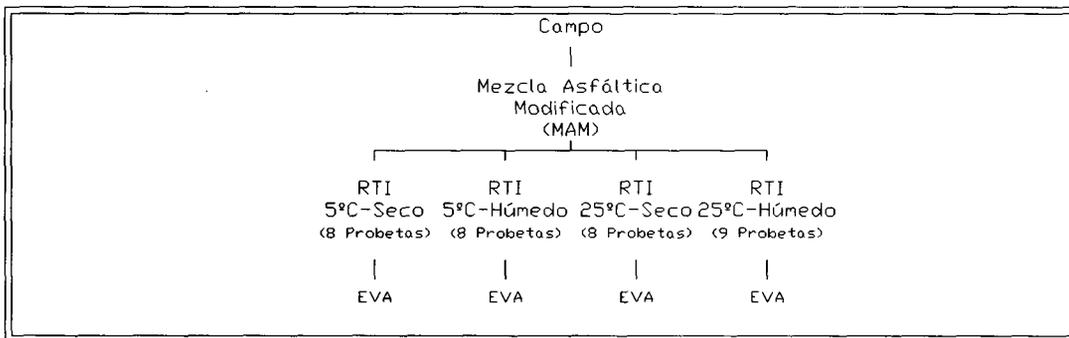


**Figura 4.5.-** Extracción de testigos de campo.



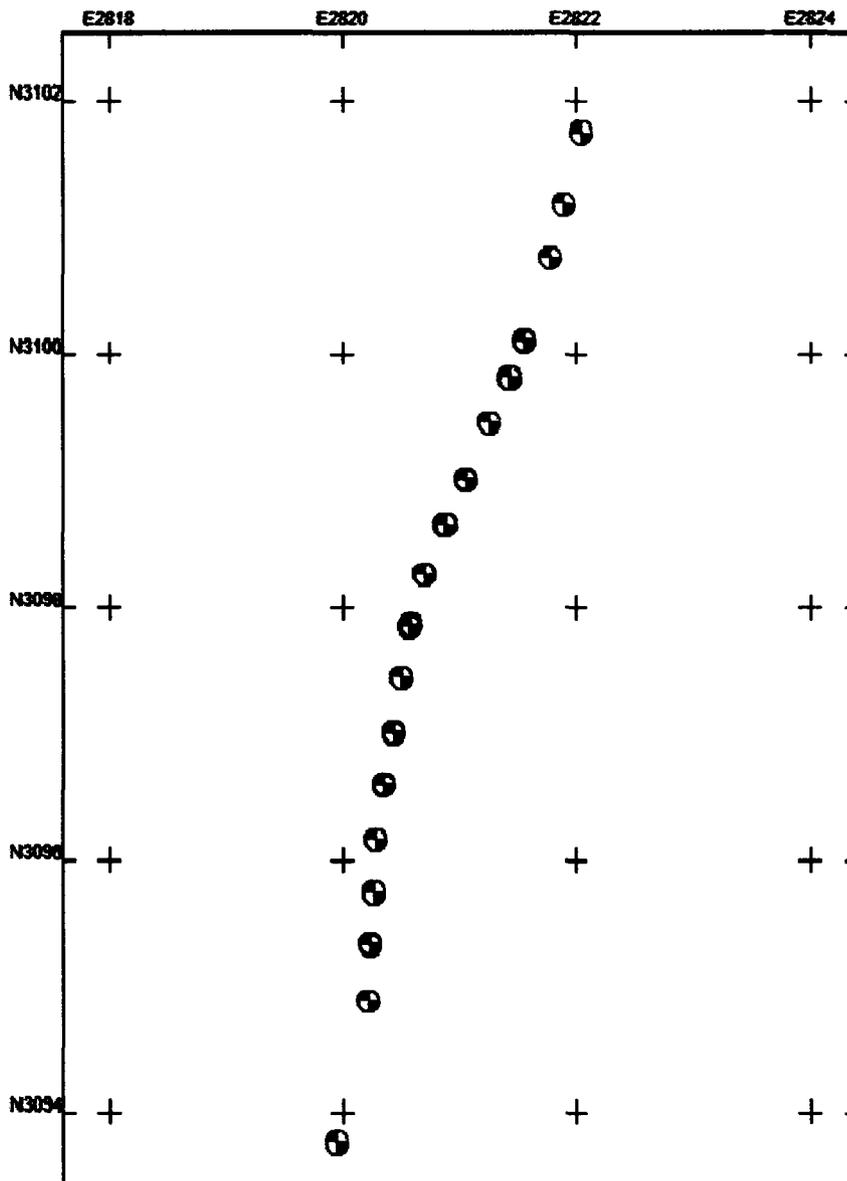
Se extrajeron 33 testigos de la carpeta tendida y compactada en campo con maquinaria pesada, de los cuales se midieron la RTI, PM y Densidades, para cada muestra evaluando 8 probetas para la temperatura de 5°C (seco), 25°C (seco), 5°C (Húmedo) y 9 probetas a 25°C (Húmedo). Las DPP no fueron evaluadas en este caso por que no se contaba con el equipo adecuado para extraer testigos rectangulares de 15x30 cm para evaluarlos ya que la perforadora solo contaba con un cilindro punta de diamante de 4". Con estas probetas se completo el tercer capítulo del estudio.

**Esquema 4.6.- Detalle de Ensayos de RTI-PM de Campo.**



Adicionalmente para tener una referencia debidamente planteada, se localizo lo primeros 22 puntos de extracción de los testigos con ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (SPG); en la figura 4.6 se puede observar de manera cualitativa la localización de dichos puntos con el software del sistema de mapeo.

Figura 4.6.- Localización de extracción de testigos con SPG.



La figura anterior, se complementa con la tabla 4.2 donde se pueden observar detalladamente latitudes, longitudes y alturas de dichos puntos de extracción, así como su cadenamiento aproximado.

Tabla 4.2.- Localización de Testigos con SPG.

Probetas	Cadenamiento	Observaciones (SPG)
No.	Km	
1	52+000	26°07'08.67"N,100°09'13.91"W,503.55m
2	51+600	26°06'51.34"N,100°09'27.87"W,496.64m
3	51+200	26°07'00.61"N,100°09'20.14"W,507.90m
4	50+800	26°06'39.02"N,100°09'37.48"W,502.00m
5	50+400	26°06'29.31"N,100°09'45.40"W,514.25m
6	50+000	26°06'18.56"N,100°09'53.76"W,510.35m
7	49+600	26°06'07.04"N,100°10'00.54"W,511.02m
8	49+200	26°05'55.10"N,100°10'05.41"W,548.11m
9	48+800	26°05'42.78"N,100°10'10.59"W,580.68m
10	48+400	26°05'30.61"N,100°10'15.69"W,602.18m
11	48+00	26°05'18.04"N,100°10'20.42"W,597.04m
12	47+600	26°05'05.73"N,100°10'23.75"W,580.76m
13	47+200	26°04'53.60"N,100°10'27.18"W,554.18m
14	46+800	26°04'40.48"N,100°10'30.39"W,526.86m
15	45+400	26°03'59.96"N,100°10'51.38W,480.12m
16	45+000	26°03'45.36"N,100°10'57.63"W,484.39m
17	44+600	26°03'34.33"N,100°11'01.20W,469.55m
18	44+200	26°03'21.96"N,100°11'04.48"W,460.08m
19	43+800	26°03'09.50"N,100°11'08.56"W,445.09m
20	43+400	26°02'57.17"N,100°11'12.06"W,437.02m
21	43+000	26°02'41.84"N,100°11'17.33"W,434.36m
22	42+600	26°02'30.86"N,100°11'21.81"W,419.13m

## **CAPÍTULO 5:**

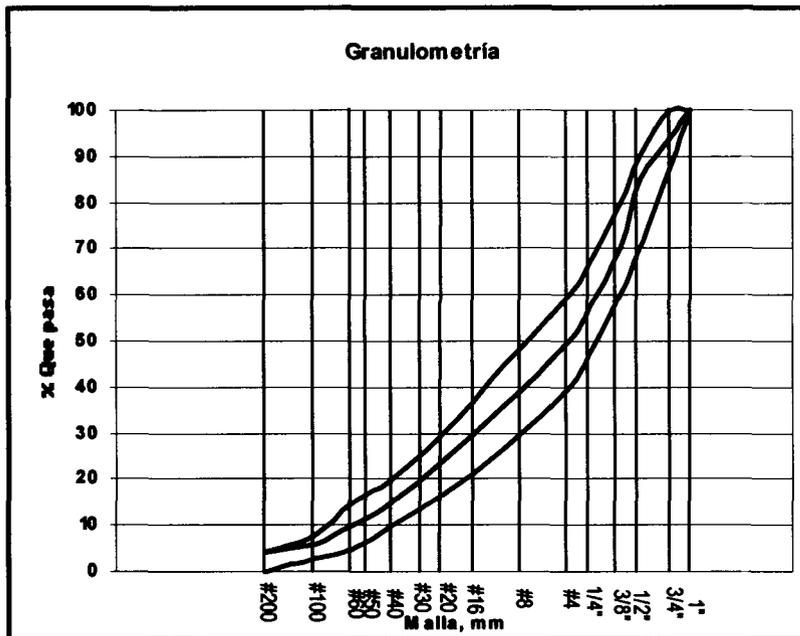
### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo, se describen y analizan los resultados de los ensayos de laboratorio, de campo-laboratorio y los de campo, en cuanto la RTI, PM, DPP, Densidades y % Vacíos en la mezcla. Los resultados se presentan resumidos, tabulados y en gráficos de tal manera que se comprendan los resultados obtenidos; las tablas completas de cada serie de los ensayos se encuentran en los anexos.

#### **5.1 GRANULOMETRÍA**

La granulometría para este proyecto fue propuesta por la empresa constructora; en el gráfico 5.1 se pueden observar gráficamente los límites de esta, la curva en color negro, representa el centro de los husos. El % que pasa se encuentra en la tabla 5.1, estos porcentajes son los que se utilizaron para reproducir la granulometría en todas las muestras usadas en la parte experimental de Laboratorio. El contenido óptimo de asfalto fue calculado por la el laboratorio de la planta dosificadora, con el procedimiento Marshall, llegando al resultado de 4.9% de contenido de asfalto. En lo que se refiere al tipo de mezcla a ser empleada con esta granulometría es del tipo densa, ya que la mezcla fabricada está proyectada para tener unos vacíos en la mezcla de entre 3-5%.

Gráfico 5.1.- Granulometría de proyecto.



En lo que se refiere a la parte de campo-laboratorio y campo, las granulometrías y contenido de asfalto, fueron las que se dosificaron en la planta mezcladora, que en teoría, deberían cumplir con lo establecido en los husos de la granulometría expuesta.

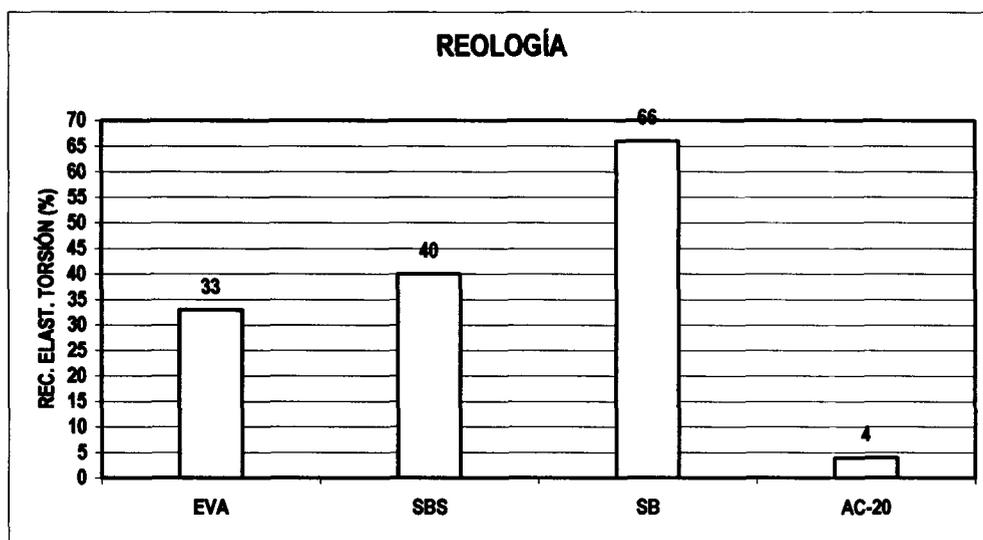
Tabla 5.1.- Límites de la granulometría de proyecto.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	MALLAS (Núm.)	% QUE PASA	DEL PROYECTO
	25,0	100	100
	19,0	94,0	100-88
	12,5	85,0	90-70
	9,50	70,0	80-60
	6,35	57,0	67-47
	4,75	50,0	60-40
	2,00	36,0	45-27
	0,850	24,0	30-17
	0,425	15,0	20-10
	0,250	10,0	15-5
	0,150	6,0	8-3
0,075	4,0	4-0	

## 5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

En los ensayos de laboratorio, además de realizar las pruebas de RTI –PM-EP- D SSS, se analizó la reología de los cuatro asfaltos (AC-20, SBS, SB y EVA). En este apartado no describimos todas la pruebas realizadas a los asfaltos, para un mayor detalle se puede consultar el anexo correspondiente.

**Gráfico 5.2.- Resultados de la Recuperación Elástica por Torsión.**

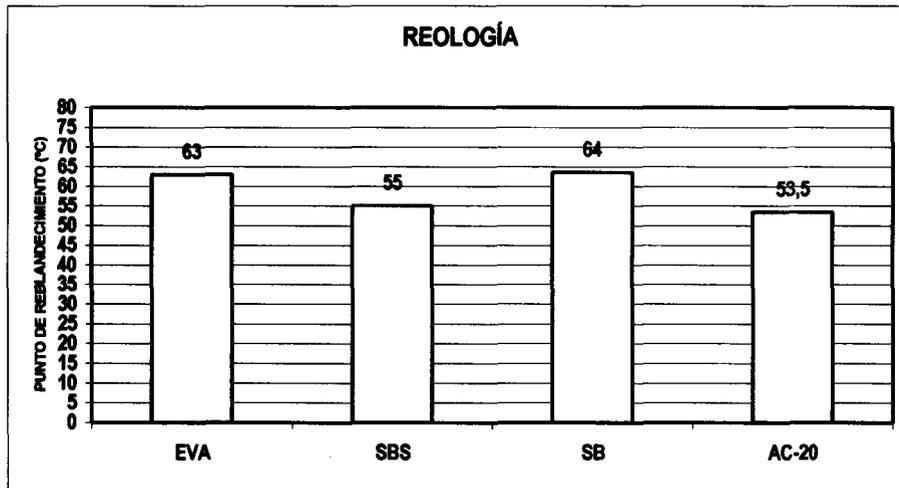


En el gráfico anterior, se pueden ver los resultados de la Recuperación Elástica por Torsión (RET); claramente se observa la presencia de modificadores en el asfaltos, ya que el AC-20 presenta un RET de 4%, la cual es muy baja y típica de estos, mientras que el EVA, SBS y SB, demuestran estar modificados al presentar sus RET superiores al 30%. Dentro de los modificados el SB presenta la mejor RET con 66%.

El punto de reblandecimiento (PR) de los asfaltos estudiados, se encuentra representado en el gráfico 5.3. Aquí se nota, como el asfalto AC-20 presentan un resultado de 53.5%, el cual esta un poco por debajo de lo requerido normalmente (55°C). Nuevamente los modificados hacen evidente la mejora en la reología de un asfalto, presentando el EVA y

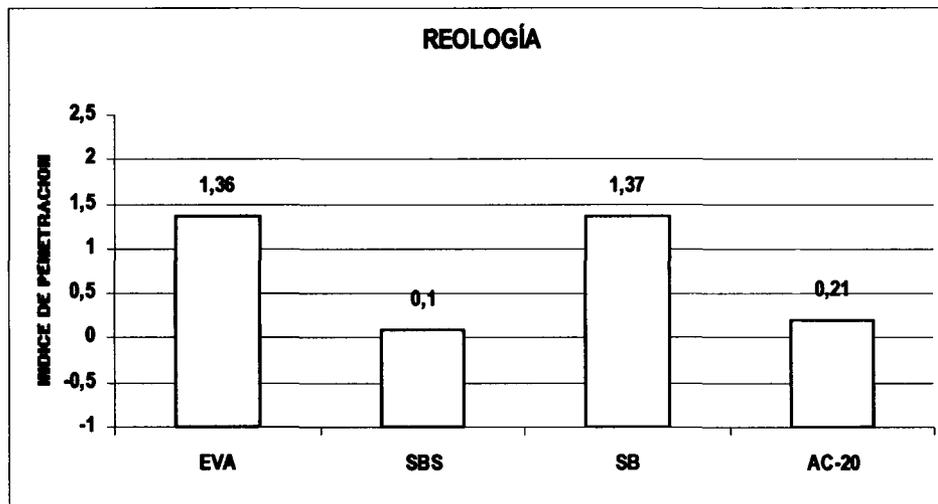
SB un PR de 63°C y 64°C, respectivamente. El SBS presenta muy poca mejora en comparación del AC-20, incrementándose solo 1.5 °C.

Gráfico 5.3.- Resultados del Punto de Reblandecimiento.



En lo que se refiere al Índice de Penetración (IP), el cual se determina con la Penetración (25°C, 100grs, 5 Seg.) y el PR, evalúa la susceptibilidad a la temperatura de los asfaltos, y de acuerdo a la teoría un asfalto que presenta un IP mayor a 1, tiene poca susceptibilidad a la temperatura, presentan cierta elasticidad y tixotropía (NTL-181/88). Lo anterior sirve para confirmar que la modificación esta presente en los asfaltos con EVA y SB, pero en el caso del SBS y AC-20, donde el IP es 0.1-0.21, son descritos como betunes con características intermedias, es decir ni muy susceptibles a la temperatura, ni poco susceptibles, pero son aptos para el empleo en mezclas asfálticas (NTL-181/88).

Gráfico 5.4.- Resultados del Índice de Penetración.



Recapitulando, para la parte del laboratorio, se fabricaron en total 96 pastillas con la granulometría densa antes mencionada, con cuatro asfaltos diferentes, un AC-20, SBS al 2.5%, SB al 3% y un EVA al 1.5% + 0.3 de Ácido polifosfórico. Para cada asfalto se fabricaron series de 24 probetas Marshall de 4" de diámetro, a una temperatura de mezcla de 175°C para el EVA y SB, 165°C para el SBS y 160°C para el AC-20, a 75 golpes por cara, con un contenido de asfaltos del 4.9%. A estas 24 pastillas se les aplico el ensayo de RTI a 5°C y 25°C, en seco y húmedo, con seis repeticiones por cada temperatura y tratamiento. Se determino la Densidad Saturada y Superficialmente Seca (D SSS) y se calcularon los % Vacíos en la Mezcla (VM). Los resultados de estos ensayos, se encuentra en la tabla 5.2. Aquí se presenta el valor medio ( $\mu$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación ( $CV=\sigma/\mu$ ), de tal manera que se cuenta con un poco de estadística descriptiva para interpretar los resultados.

Recordando lo enunciado en el objetivo particular 1, donde primordialmente lo que se busca son valores típicos de RTI de MAM y MAC, para poder diferenciar entre ellos. En la tabla 5.2 se puede observar cómo a ninguna de las temperaturas y tratamientos, se encuentra una diferencia muy marcada entre los resultados de la RTI del AC-20 en comparación con los tres modificados. El SB a 5°C en seco presenta la diferencia más

grande con 3.84 kg/cm<sup>2</sup>, inclusive en el caso del SBS a 25°C en seco, se observa como el AC-20 tubó una mejor RTI por 0.85 kg/cm<sup>2</sup>. Lo anterior va en contra de lo esperado al comienzo de los estudios, ya que se esperaba encontrar una diferencia superior de 10 o 15 kg/cm<sup>2</sup>, de tal manera que se podría diferenciar una MAM y MAC por su RTI.

**Tabla 5.2.- Resultados de RTI-DSSS-%VM para los ensayos de laboratorio.**

TIPO DE ASFALTO		SB			SBS			AC-20			EVA		
RESISTENCIA A TENSION INDIRECTA (RTI)													
SECO		$\mu$	$\sigma$	CV									
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	25,15	2,55	0,101	23,21	1,01	0,043	21,31	1,17	0,055	23,87	2,8	0,117
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	8,47	0,38	0,045	6,29	0,47	0,075	7,14	0,35	0,05	7,5	0,77	0,103
HUMEDO		$\mu$	$\sigma$	CV									
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	23,35	1,79	0,077	24,84	1,42	0,057	22,61	2,75	0,122	21,5	2,05	0,095
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	8,62	0,36	0,042	8,1	0,4	0,049	6,37	0,34	0,053	7,58	0,71	0,094
D SSS (gr/cm <sup>3</sup> )		2,48	0,01	0,002	2,49	0,01	0,002	2,48	0,01	0,002	2,48	0,01	0,002
Vacíos en la Mezcla (%)		-1,12	0,21	0,185	-1,32	0,21	0,163	-1,16	0,21	0,185	-1,13	0,22	0,197

De la tabla anterior, podemos observar que el % VM para todos los asfaltos se encuentra entre -1.12 % a -1.32%, lo que nos indica claramente que no se cumple con el 3-5% para mezclas densas. También se puede ver como la diferencia de los resultados de RTI en seco y húmedo, varia de entre 0.2 -2 kg aproximadamente, lo cual indica que por presentar %VM negativos, el efecto de la inmersión en agua a 60°C por 24 hrs, no afecta severamente a este tipo de mezclas, inclusive se puede ver el caso del SBS a 5°C en seco donde tenemos un valor de 23,21 kg/cm<sup>2</sup> y a 5°C en húmedo tenemos 24.84 kg/cm<sup>2</sup>, que en lugar de bajar la RTI aumenta 1.63 kg/cm<sup>2</sup>.

La razón de lo anterior puede ser debido a que el asfalto al estar inmerso a una temperatura de 60°C superior a su PR, de 55°C para el SBS y 53.5°C para el AC-20, permita que exista un acomodo dentro de las partículas de la mezcla de tal manera que se incremente el área efectiva de la sección transversal, o que el asfalto reblandecido encapsule un poco de agua formando burbujas con agua, que queden atrapadas dentro de la mezcla y como el agua es incompresible, aumente un poco la RTI de las mismas.

Los CV para el caso de la RTI no fueron mayores de 13% y para el %VM el CV es menor al 20% en todas las mezclas, lo que indica una homogeneidad en los resultados.

Los valores medios de las D SSS, son de 2.48 gr/cm<sup>3</sup> para el SB, EVA y AC-20, este será el valor utilizado para comparar en contra de lo que se espera obtener en las D SSS de las probetas de campo-laboratorio y campo. La homogeneidad de los resultados de laboratorio para la DSSS se corrobora con el CV de 0.002 para todos los casos, lo que es un indicador de la calidad de las muestras fabricadas, ya que en laboratorio se tienen controladas al gramo, las granulometrías, contenidos de asfaltos y condiciones de fabricación, lo que en campo tiende a ser mas difícil de controlar.

En cuanto a la diferencia de las temperaturas del ensayo, se puede observar claramente como a 25°C los valores de RTI oscilan entre 5–10 kg/cm<sup>2</sup> y a 5°C entre 18-30 kg/cm<sup>2</sup>, lo que nos corrobora el hecho de que una mezcla asfáltica se comporta mas elástica que viscosa a temperaturas frías (cercanas a los 0°C) y mas viscosa que elástica a temperaturas intermedias (20°C y 40°C). En los gráficos 5.5 y 5.6 se puede ver la tendencia mencionada anteriormente, también se corrobora el hecho que el tratamiento de inmersión no afecta notablemente los resultados de la RTI para mezclas con %VM menores al 7% según algunos investigadores.

Los valores obtenidos de la RTI a 5°C en seco y en húmedo, si se comparan con los resultados de otras investigaciones donde se obtienen valores de entre 37 kg/cm<sup>2</sup> y 45 kg/cm<sup>2</sup> [4,20], se encuentran entre un 33% y 50% por debajo de los anteriores. Esto nos indica que la mezcla asfáltica estudiada, presentara muy poco durabilidad y resistencia al agrietamiento por fatiga, por lo que se espera tenga una disminución en su vida útil.

Gráfico 5.5.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en laboratorio.

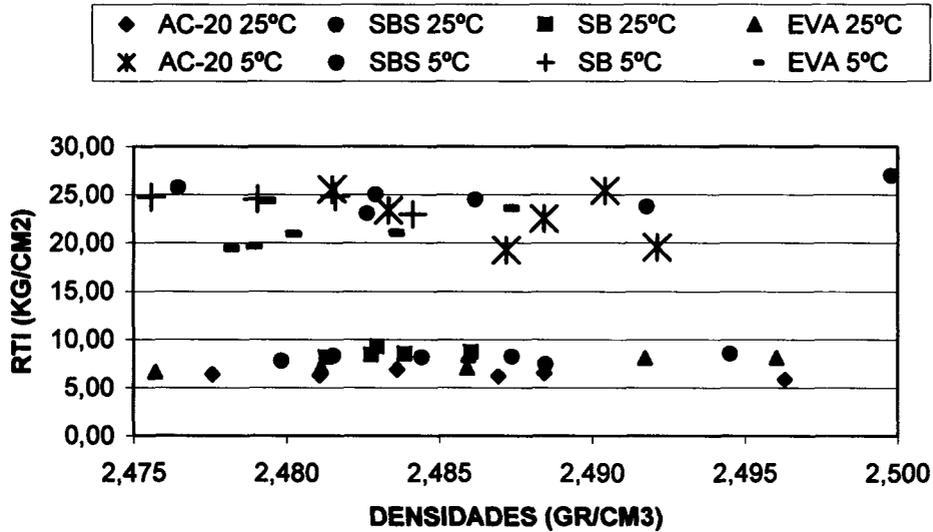


Gráfico 5.6.- RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. Densidades SSS en laboratorio.

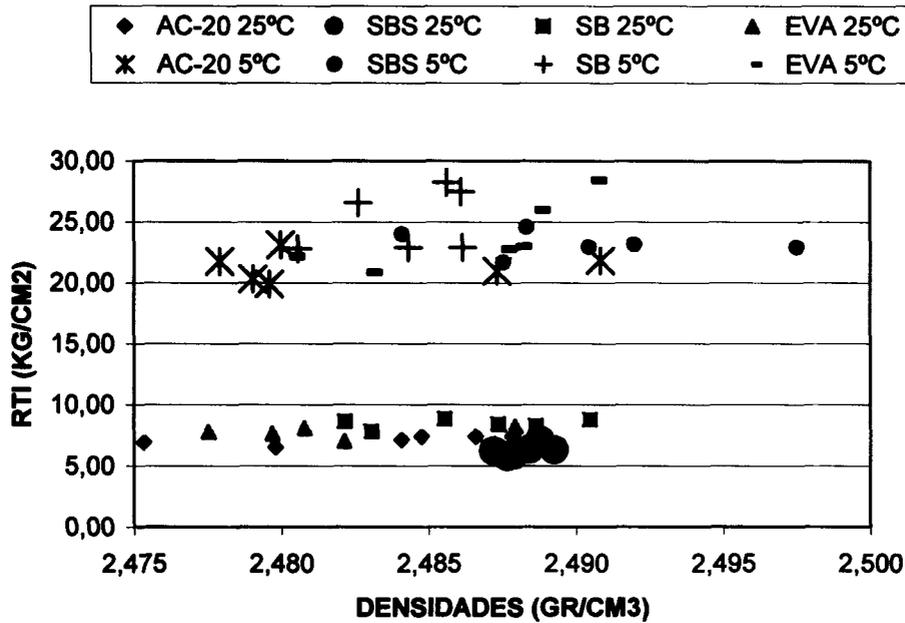


Gráfico 5.7.- D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en laboratorio.

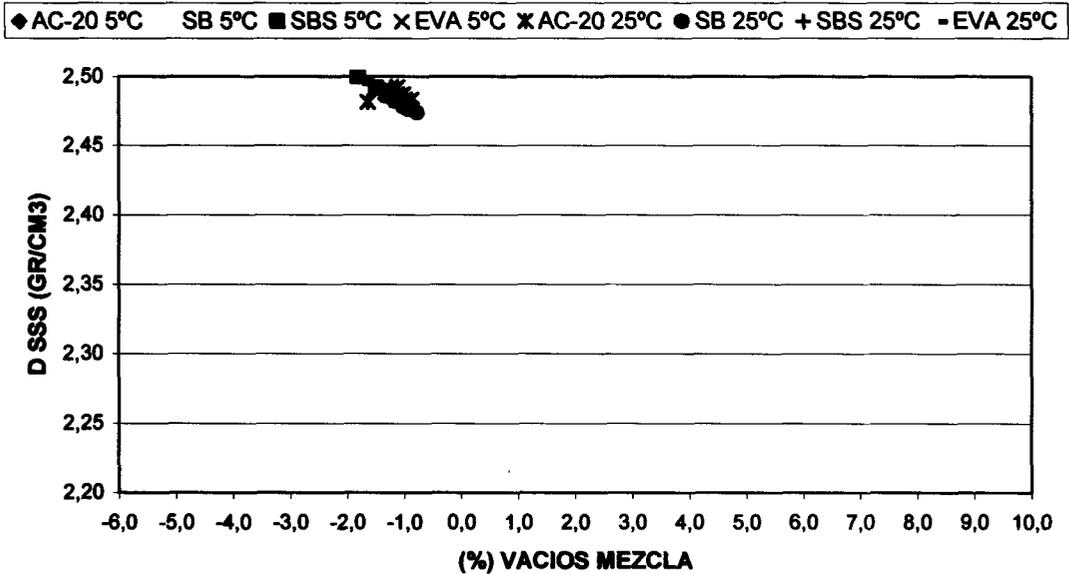
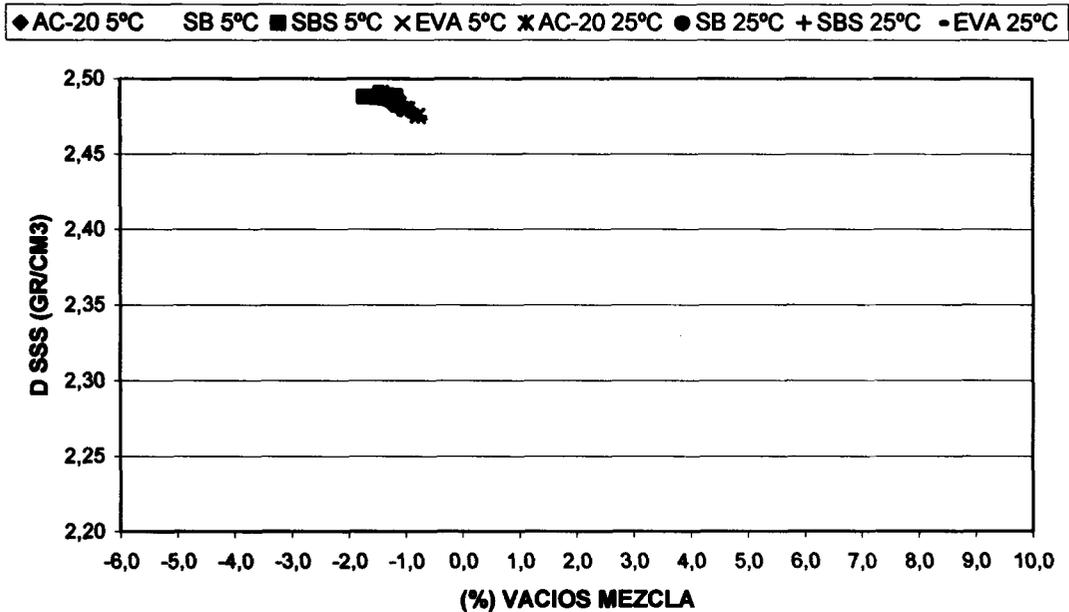


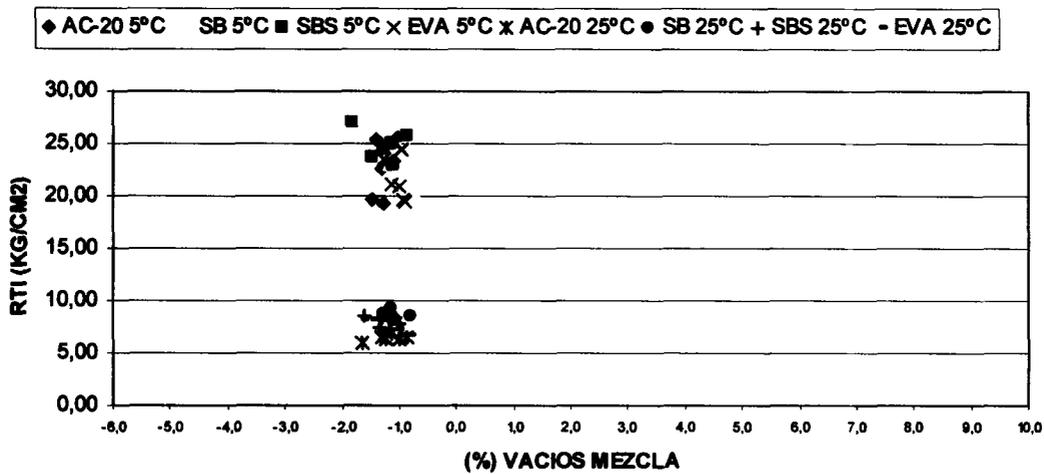
Gráfico 5.8.- D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en laboratorio.



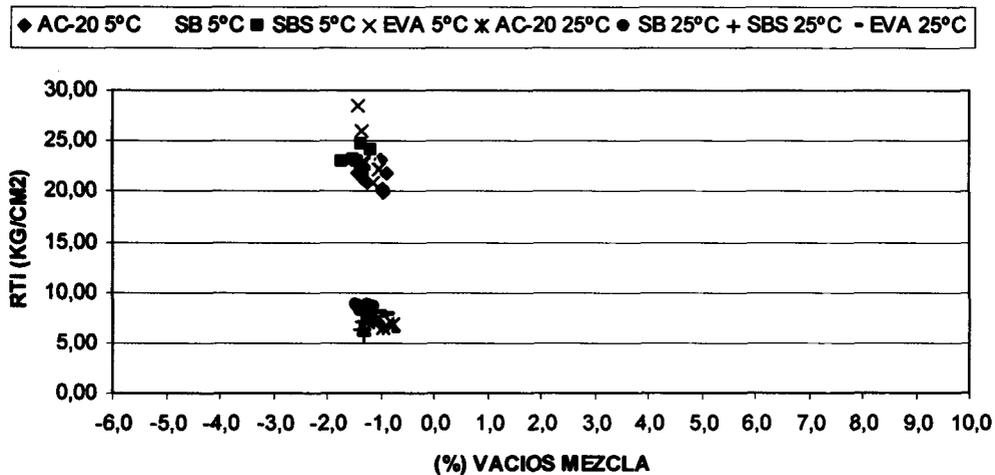
En el gráfico 5.7 y 5.8 se observa como la D SSS presenta una relación con el % VM, con una tendencia lineal, indicando que al reducirse los vacíos estos son ocupados por material, por lo que la densidad del material se aumenta y viceversa, si aumenta los

vacíos se reduce la densidad. La RTI se graficó contra el % VM en húmedo y en seco (Ver grafico 5.9 y 5.10), para poder identificar alguna relación. Se observa que no existe una tendencia clara como en el caso de la D SSS, pero se puede interpretar que a menor %VM, la RTI aumenta. Simplemente porque al reducirse los vacíos, aumenta el área efectiva de la sección transversal y la densidad; y por ende la RTI. Aunque en los gráficos se puede ver como existen casos donde algunas probetas con mayor %VM presentan mas RTI en comparación con otras con menor %VM.

**Gráfico 5.9.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en laboratorio.**



**Gráfico 5.10.- RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en laboratorio.**



En lo que se refiere al Pseudo Modulo (PM), los resultados están directamente relacionados con los resultados de RTI, siguiendo las mismas tendencias a diferentes temperaturas de la RTI, por ejemplo: el SBS a 5°C tiene un RTI en húmedo de 23.21 kg/cm<sup>2</sup> y en seco de 24.84 kg/cm<sup>2</sup>, subiendo 1.63 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras el PM a 5°C en húmedo es de 1147.74 kg/cm y en seco de 1274.20 kg/cm subiendo 126.46 kg/cm, por lo tanto siguiendo el mismo comportamiento de la RTI. Lo anterior se cumple para todas las temperaturas, asfaltos y tratamientos, pero cabe mencionar que no suben en la misma proporción, el PM sube 11% y la RTI 7%, para el ejemplo anterior.

**Tabla 5.3.- Resultados de PM para los ensayos de laboratorio.**

TIPO DE ASFALTO		SB			SBS			AC-20			EVA		
PSEUDO MODULO													
SECO		$\mu$	$\sigma$	CV									
PM (kg/cm)	5°C	1241,69	284,50	0,229	1147,74	149,65	0,130	1116,12	156,17	0,140	1200,01	165,62	0,138
PM (kg/cm)	25°C	557,57	73,58	0,132	344,30	68,46	0,199	481,11	66,74	0,139	480,18	133,48	0,278
HUMEDO		$\mu$	$\sigma$	CV									
PM (kg/cm)	5°C	1184,57	208,09	0,176	1274,20	108,48	0,085	1039,56	262,90	0,253	884,86	244,97	0,277
PM (kg/cm)	25°C	462,43	98,63	0,213	518,64	150,06	0,289	433,18	65,14	0,150	422,16	75,28	0,178

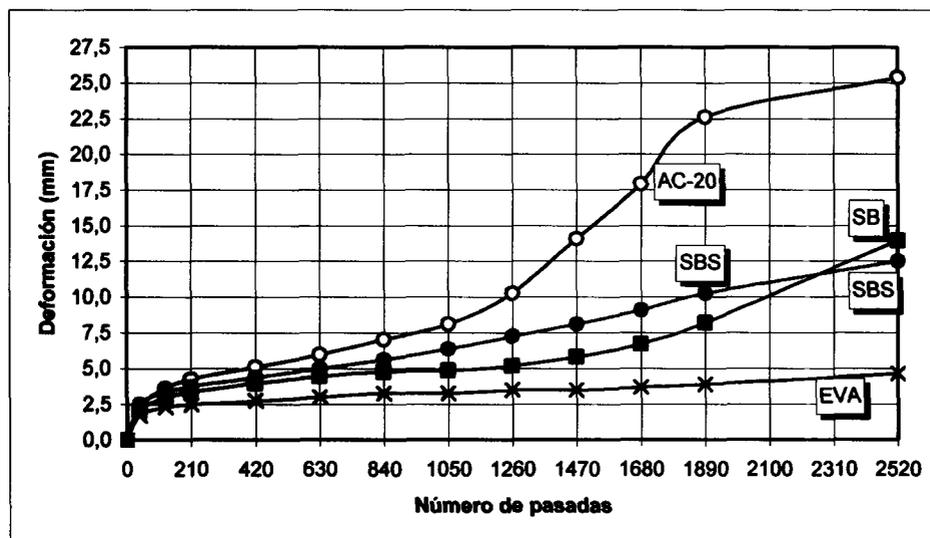
El ITESM-Ensayo de Pista es otro de los puntos que se propone utilizar para controlar la calidad, y es evidente con los resultados obtenidos. Dentro de todos los asfaltos utilizados el que presenta la mejor resistencia a las Deformaciones Plásticas Permanentes (DPP) es el EVA con 4.66 mm y el SB presenta 13.95 mm, lo que es opuesto a lo que pasa con la RTI, ya que en cuanto a esta resistencia mecánica el SB presenta mejor comportamiento que el EVA. Sin embargo, todos los asfaltos modificados por lo menos reducen las DPP entre un 45 – 82 % comparados con la lectura del AC-20 de 25.40mm.

**Tabla 5.4.- Resultados del Ensayo de Pista y contenido de asfalto para laboratorio.**

TIPO DE ASFALTO		SB	SBS	AC-20	EVA
ENSAYO DE PISTA					
DPP (mm)	60°C	13,95	12,50	25,40	4,66
C.A	%	4,9	4,9	4,9	4,9

En el gráfico 5.11 se puede monitorear las tendencias y evoluciones de la DPP de las mezclas. De acuerdo este grafico las DPP comienzan a superar los 5mm recomendados a partir de la pasada 630 para el AC-20, SB y SBS, a partir de ahí claramente se observa la mejora en los comportamiento de los MAM contra las MAC. El EVA demuestra tener un mejor resistencia a las DPP, ya que a comparación de cualquiera de los otros asfaltos se puede ver como no presenta una pendiente pronunciada, como puede ser el caso del AC-20 después de la pasada 1050, el SB después de la pasada 1260 y el SBS después de la pasada 840.

**Gráfico 5.11.-** Resultados de los Ensayos de Pista para los ensayos de laboratorio.



### 5.3 ENSAYOS CON MATERIAL MUESTREADO EN CAMPO Y FABRICADO EN LABORATORIO.

Tabla 5.5.- Resultados de RTI para los ensayos de campo-laboratorio.

MUESTREO		M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV		
<b>RESISTENCIA A TENSION INDIRECTA (RTI)</b>													
<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	11,82	1,44	0,122	15,33	1,96	0,128	22,37	1,01	0,045	17,62	2,5	0,142
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	4,92	0,91	0,184	6,8	0,91	0,133	8,15	0,36	0,044	8,11	1,55	0,191
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	11,99	2,56	0,213	15,38	1,4	0,091	19,37	1,1	0,057	16,29	1,55	0,095
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	3,2	0,78	0,243	7,25	0,43	0,059	8,6	0,47	0,054	7,99	0,85	0,107
<b>D SSS (gr/cm3)</b>		2,29	0,04	0,018	2,38	0,02	0,007	2,45	0,03	0,012	2,42	0,01	0,004
<b>Vacios en la Mezcla (%)</b>		7,24	1,67	0,230	3,34	0,66	0,197	-0,50	1,20	2,405	1,68	0,42	0,253
MUESTREO		M-VI			M-VII			M-VIII					
<b>RESISTENCIA A TENSION INDIRECTA (RTI)</b>													
<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV			
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	15,35	2,88	0,188	16,29	1,35	0,083	17,63	2,61	0,148			
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	6,53	0,79	0,122	8,62	0,62	0,071	8,26	0,7	0,085			
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV			
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	12,74	1,25	0,098	13,54	0,71	0,052	16,62	3,02	0,182			
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	6,64	0,86	0,13	6,07	0,79	0,13	8,17	0,52	0,064			
<b>D SSS (gr/cm3)</b>		2,39	0,01	0,005	2,42	0,02	0,007	2,41	0,01	0,005			
<b>Vacios en la Mezcla (%)</b>		3,33	0,50	0,150	1,99	0,70	0,351	1,46	0,45	0,307			

Para esta etapa del estudio, se muestreó el material de la obra y la planta dosificadora, se fabricaron series de 24 probetas, 6 para cada temperatura y tratamiento, de tal manera que se siguió el mismo procedimiento que los estudios de laboratorio.

Recordando lo establecido en el objetivo particular 3, se evaluara la diferencia de la RTI de las mezclas fabricadas con EVA en laboratorio, contra el EVA muestreado y fabricado en laboratorio. Primeramente, los resultados de la tabla 5.6 nos indica que el valor mínimo de RTI a 5°C en seco fue de 11.82 kg/cm<sup>2</sup> y el máximo de 22.37 kg/cm<sup>2</sup>, que comparado contra el 23.87 kg/cm<sup>2</sup> obtenido en laboratorio, podemos fácilmente evaluar que dichos resultados no cumplen con lo requerido por la pruebas de laboratorio.

Lo anterior primordialmente se puede deducir, de la diferencia en la D SSS y %VM. Para la densidad en laboratorio tenemos 2.48 gr/cm<sup>3</sup> y en campo laboratorio para la muestra M I y II, se tiene 2.29 gr/cm<sup>3</sup> y para el PM-IV tenemos 2.45 gr/cm<sup>3</sup>. Esto nos corrobora el hecho que a medida que aumentan los valores de la densidad y se aumentan los vacíos, la RTI sube para todas las temperaturas y tratamientos. La RTI a 25°C en seco presenta un comportamiento diferente, comparado con los resultados del laboratorio, ya que se tiene un valor de 7.50 kg/cm<sup>2</sup> y en campo-laboratorio se presentan valores de 4.92 a 8.62 kg/cm<sup>2</sup>, observando que el PM IV, M IV, M VII y MVIII, superan lo de laboratorio. El M I y MII, fallan todas las pruebas ya que estas probetas fueron fabricadas en campo, y como se menciono anteriormente, las densidades de las pastillas no fueron uniformes, debido a que la mezcla en campo se enfriaba mas rápido de lo que se podía compactar. Con respecto a las otras pruebas todas fueron fabricadas en laboratorio, lo que implica que la diferencia en el comportamiento a 25°C en seco, hace evidente algún cambio en la composición de la mezcla, como puede ser la granulometría, el contenido de asfalto o las características del asfalto.

El tratamiento de inmersión a 60°C en agua por 24 hrs, mostró resultados similares a los del laboratorio, ya que siendo mezclas densas, el agua tuvo poco reducción de la RTI. A 25°C se observa como las reducciones de RTI fueron menores e inclusive aumentó en algunas de las muestras en comparación con los 5°C.

El % VM se encuentra entre -0.5% a 3.34%, para todos lo muestreos excepto en el MI y II donde llega a 7%. Lo anterior nos indica que solo el MVI y MIII cumplen con los vacíos para una mezcla densa (3% a 5%).

En lo que respecta a al CV, se puede ver como en la RTI presenta valores menores a 24% y para el %VM menores a 35%, lo que indica mas variación que la presentada en laboratorio.

En los gráficos 5.12 y 5.13, podemos observar un resumen de los valores de RTI a 5°C y 25°C, en seco y húmedo respectivamente. Aquí se ve claramente lo antes mencionado, a mayor densidad la RTI tiende a subir. Por ejemplo claramente se observa que los valores de PM IV, se encuentran más cercanos a los de laboratorio, ya que la densidad fue mayor, comparado con los otros muestreos donde la densidad es menor y la RTI también.

En los resultados de la muestras en húmedo, se puede ver como las que tuvieron menos densidad y % VM fueron las afectadas mas por la inmersión, que es el caso de la M I y II, las cuales redujeron su RTI, mientras que en otros aumentaron.

Gráfico 5.12.- RTI a 5°C y 25°C (seco) vs. Densidades SSS en campo- laboratorio.

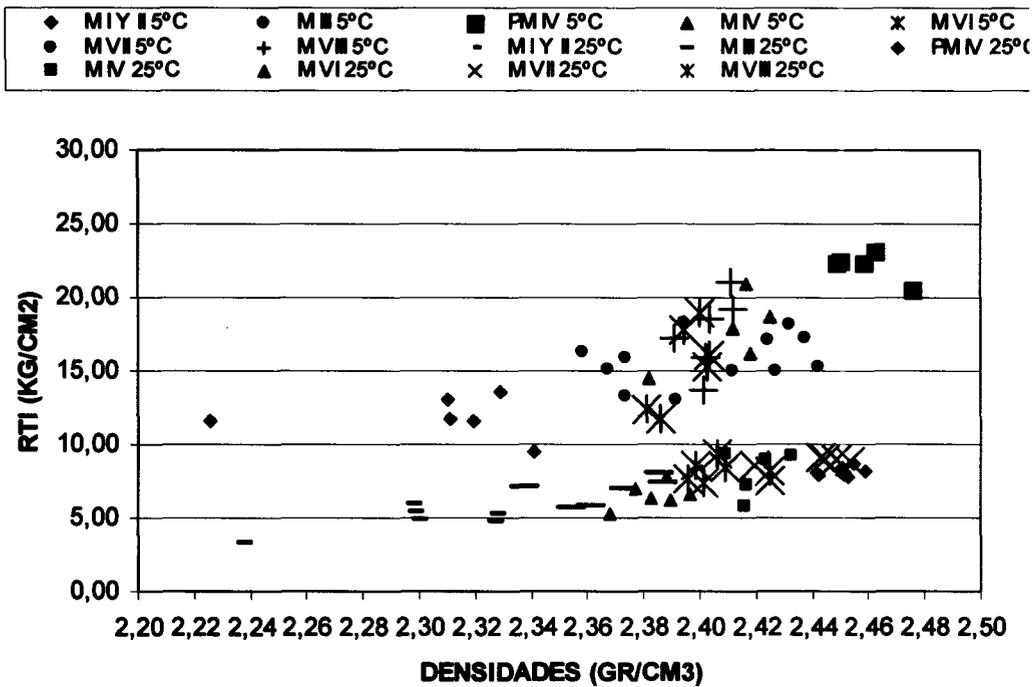
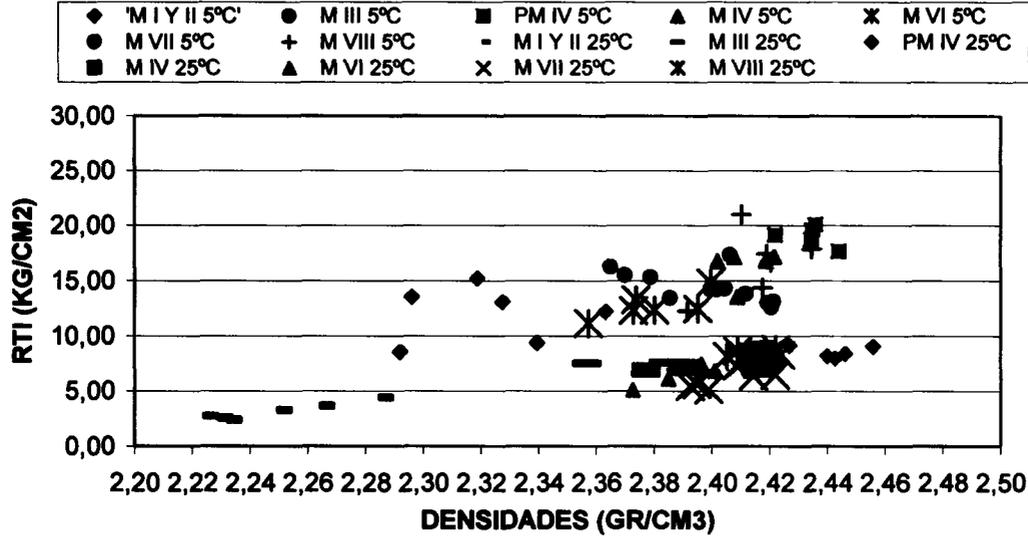


Gráfico 5.13.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.



Los valores de la RTI en seco estuvieron en el rango de los 10 – 25 kg/cm<sup>2</sup> a 5°C en seco y a 25 °C en seco entre 5 – 10 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. En húmedo a 25°C los resultados tendieron a subir y agruparse, mientras que 5°C tendieron a bajar.

Gráfico 5.14.- D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo-laboratorio.

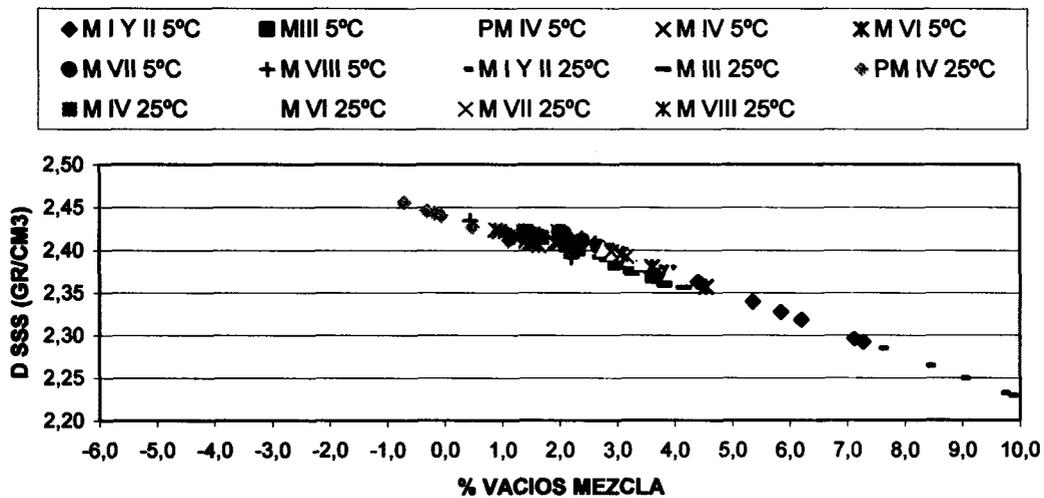
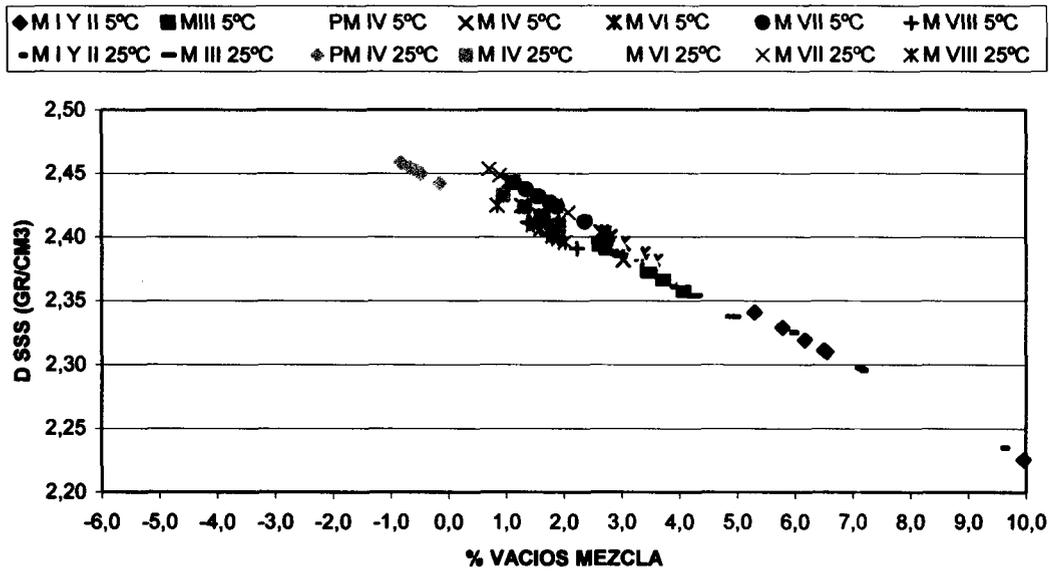


Gráfico 5.15.- D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo-laboratorio.



Graficando la D SSS contra el % VM, se puede ver como la relación entre estas variables sigue una tendencia lineal, igual que en laboratorio. Encontrándose nuevamente con que al aumentar los vacíos se reduce la densidad.

Gráfico 5.16.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo-laboratorio.

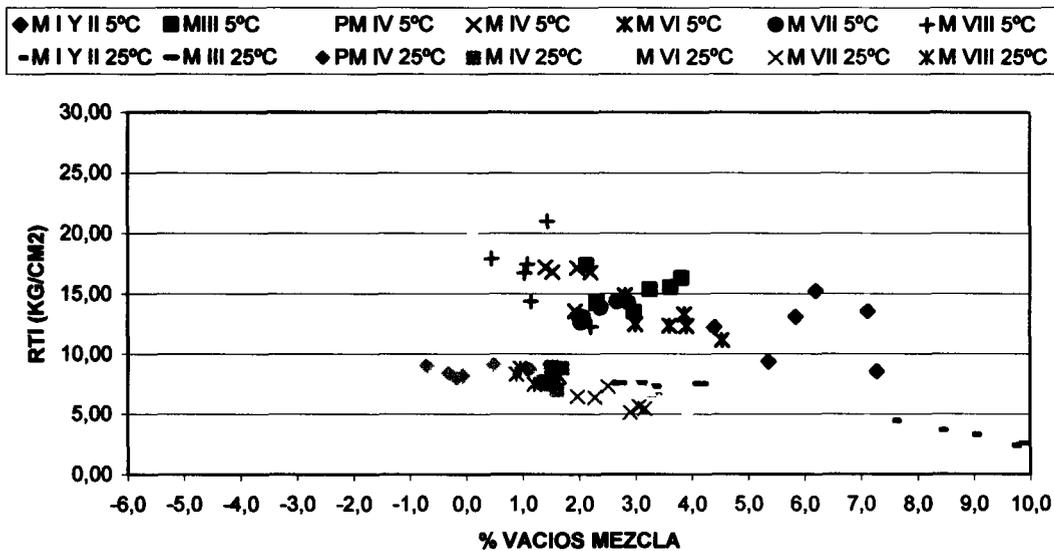
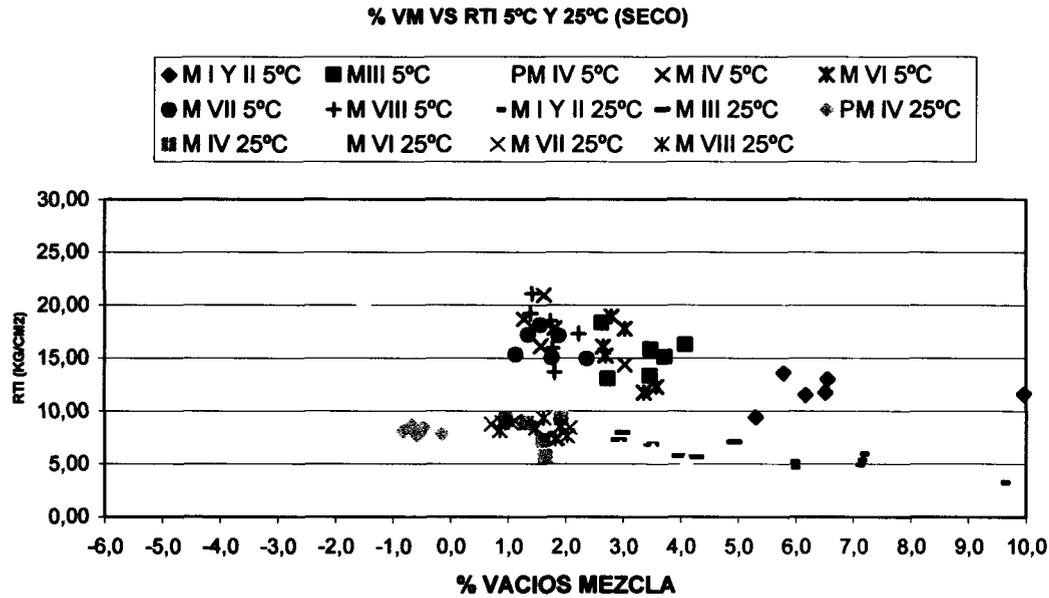


Gráfico 5.17.- RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo-laboratorio.



Relacionando la RTI con el %VM, en los gráficos 5.16 y 5.17 se observa una tendencia a que aumente la RTI cuando existen menores vacíos. Comprobando que la reducción en el %VM, aumenta la RTI. Comparado con los gráficos de laboratorio, aquí se ve mas claro el comportamiento, aunque existen puntos donde no se cumple.

En lo PM se puede observar la misma tendencia que los resultados en laboratorio, donde si la RTI sube el PM también, pero no en la misma proporción.

Tabla 5.6.- Resultados de PM para los ensayos de campo-laboratorio.

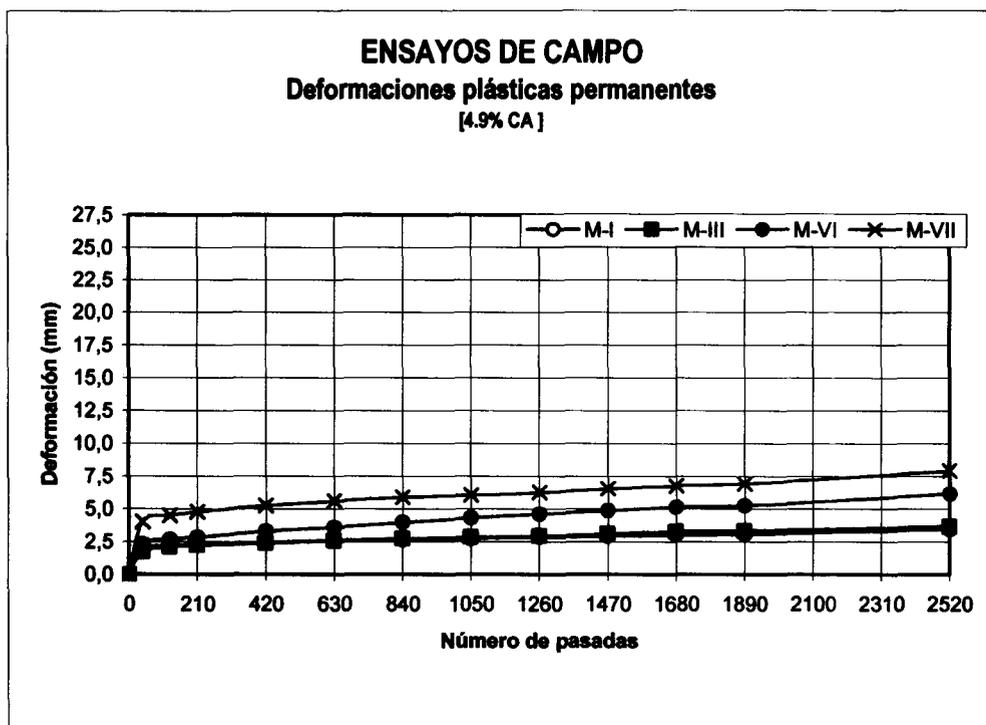
MUESTREO		M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV					
<b>PSEUDO MODULO</b>																
<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV			
PM (kg/cm)	5°C	794,86	188,93	0,238	850,61	260,29	0,306	1093,88	200,4	0,183	745,14	363,98	0,488			
PM (kg/cm)	25°C	423,42	109,51	0,259	409,58	82,87	0,202	611,99	101,35	0,166	538,23	192,2	0,357			
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV			
PM (kg/cm)	5°C	939,81	191,45	0,204	943,78	138,76	0,147	1057,59	201,43	0,19	692,2	66,64	0,096			
PM (kg/cm)	25°C	283,69	90,08	0,318	551,15	79,79	0,145	571,57	153,62	0,269	461,57	84,22	0,182			
MUESTREO		M-VI			M-VII			M-VIII								
<b>PSEUDO MODULO</b>																
<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV				$\mu$	$\sigma$	CV
PM (kg/cm)	5°C	644,13	174,95	0,272	639,83	124,97	0,195	737,06	138,05	0,187						
PM (kg/cm)	25°C	316,7	76,25	0,241	501,64	105,86	0,211	364,32	48,22	0,132						
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV	$\mu$	$\sigma$	CV				$\mu$	$\sigma$	CV
PM (kg/cm)	5°C	663,75	86,3	0,13	567,64	136,61	0,241	631,46	128,64	0,204						
PM (kg/cm)	25°C	444,4	103,27	0,232	341,05	103,44	0,303	426,47	130,27	0,305						

En la tabla 5.7 se tiene los resultados del ITESM- Ensayo de Pista, donde se puede ver que el mejor comportamiento lo tuvo la M I y II, esto fue debido a que esta sí, se preparo en laboratorio a diferencia de las muestras de la RTI. Dentro de estos resultados se ve como la M I y II , M III cumplen con lo recomendado teniendo una DPP menor a 5mm, mientras que la M VI y M VII se encuentran un rodera critica (5.1 mm – 10mm). Lo anterior se encuentra representado en el grafico 5.18.

Tabla 5.7.- Resultados de Ensayo de Pista y contenido de asfaltos para los ensayos de campo-laboratorio.

MUESTREO		M-I Y II	M-III	PM-IV	M-IV	M-VI	M-VII	M-VIII
<b>ENSAYO DE PISTA</b>								
DPP (mm)	60°C	3,5	3,65			6,16	7,96	
C.A	%	4,4	4,8	5,43	4,88	4,48	4,44	5,21

Gráfico 5.18.- Resultados del Ensayo de Pista para los ensayos de campo-laboratorio.



#### 5.4 TESTIGOS EXTRADIOS EN CAMPO

En los objetivos particulares 4 y 5, se menciona el comparar los resultados de RTI, en campo, contra los de laboratorio y campo-laboratorio. Primordialmente esperando que los resultados de campo fueran mas altos, por la diferencias en el sistema de compactación. Lo que se encontró, fue que comparando los resultados de la tabla 5.10, donde la RTI promedio a 5°C en seco de los testigos de campo fue de 13.77 kg/cm<sup>2</sup>, siendo aproximadamente 42% (23.87 kg/cm<sup>2</sup>) mas baja que la de la laboratorio y un 38% (22.37kg/cm<sup>2</sup> –PM IV) mas baja que la obtenida en laboratorio campo y solo en el caso de la PM I y II, resultado ser mas alta. Se puede observar como el mismo comportamiento encontrado en campo laboratorio, que a 25°C en húmedo presenta un mejor comportamiento que a 5°C elevándose la RTI, esta presente en los testigos.

**Tabla 5.8.- Resultados de RTI para los ensayos de campo.**

<b>RESISTENCIA TENSION INDIRECTA</b>				
<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	<b>cv</b>
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>5°C</b>	13,77	2,83	0,206
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>25°C</b>	4,28	0,48	0,111
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	<b>cv</b>
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>5°C</b>	11,96	3,43	0,287
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>25°C</b>	5,07	0,83	0,164
<b>D SSS (gr/cm<sup>3</sup>)</b>		2,34	0,05	0,022
<b>Vacios en la Mezcla (%)</b>		4,57	2,06	0,451

La diferencia de las RTI, nuevamente puede ser atribuida a que no alcanzan el valor de densidad de 2.49 gr/cm<sup>3</sup> de el EVA fabricado en laboratorio, comparado con el 2.34 gr/cm<sup>3</sup> del los testigos. Resumiendo en campo se tuvo un 94% de compactación y en campo-laboratorio entre un 92% y 98% de compactación, comparado contra el laboratorio. En lo que se refiere a % VM se puede ver como el valor promedio de 4.57% si cumple con lo requerido para una mezcla densa, pero con un CV del 45% lo que indica que hay varios testigos que no cumplen con el porcentaje de vacíos.

Gráfico 5.19.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.

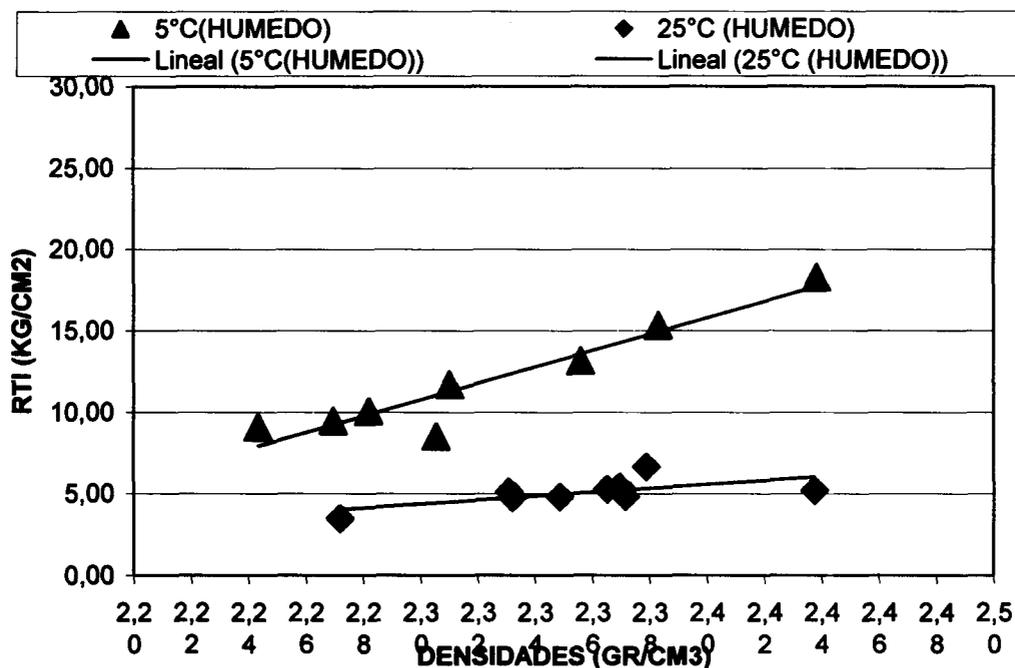
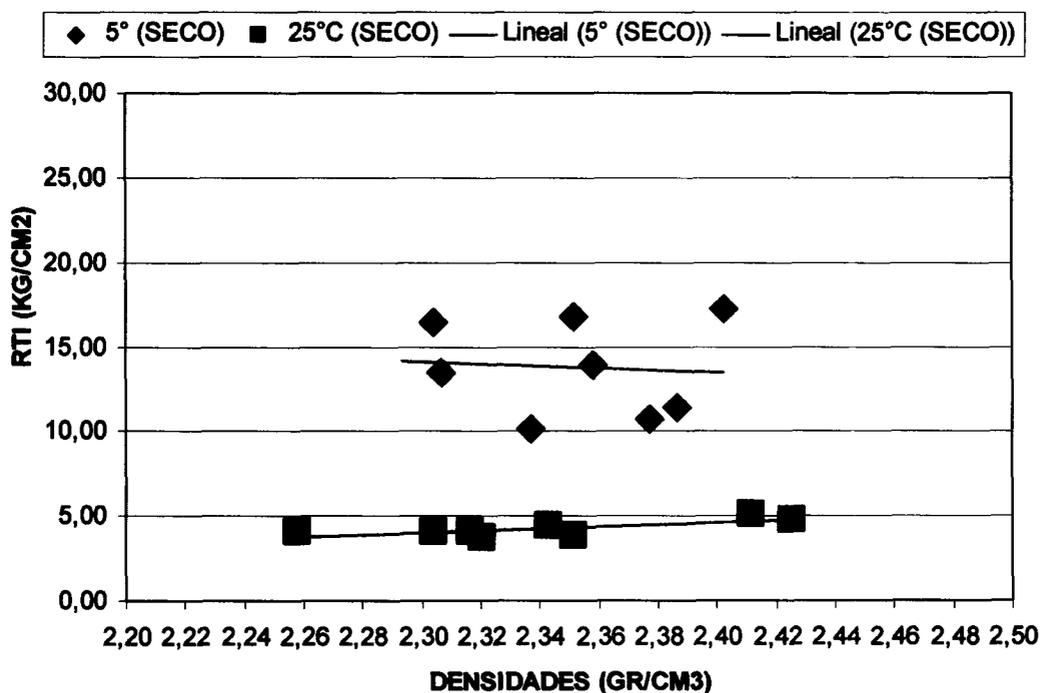


Gráfico 5.20.- RTI a 5°C y 25°C (Seco) vs. Densidades SSS en campo-laboratorio.



Los gráficos 5.19 y 5.20, corroboran la tendencia de la RTI a subir conforme la densidad aumenta. Este comportamiento ya había sido identificado previamente en la tesis de la Dra. Adriana Martínez.

La diferencia en las densidades y los resultados en la RTI, pueden ser atribuidos a que la mezcla se enfría en el transporte de la planta dosificadora a lugar de la obra y alguna variación de la granulometría.

El comportamiento de la RTI a 25°C siendo mejor que el de los 5°C en comparación con los resultados de laboratorio, puede ser debido a un cambio en las características del asfalto.

En lo que respecta a la relación D SSS y %VM, se observa el mismo comportamiento en campo, campo-laboratorio y laboratorio, donde al reducirse los vacíos, aumenta la densidad.

**Gráfico 5.21.- D SSS a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.**

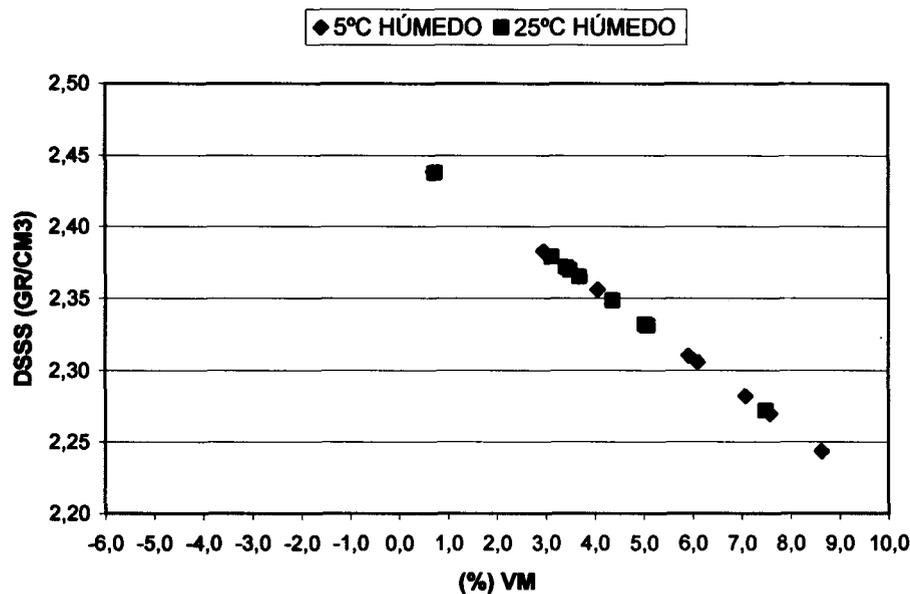
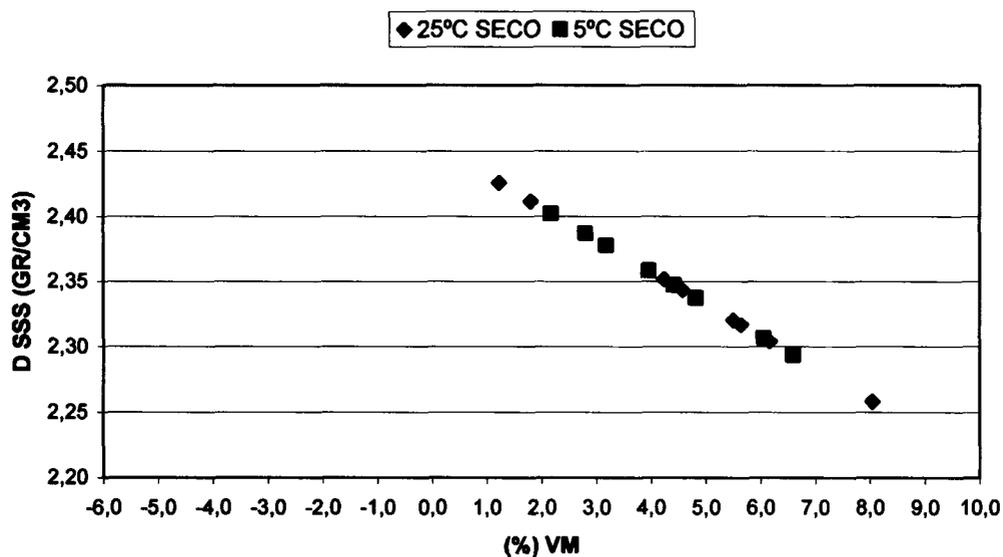


Gráfico 5.22.- D SSS a 5°C y 25°C (Seco) vs. %VM en campo.



En los gráficos 5.23 y 5.24, se puede observar la relación de la RTI con el %VM. Contrastando con los resultados de laboratorio y de campo-laboratorio, se observa más claramente el aumento de la RTI cuando los vacíos decrecen.

Gráfico 5.23.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.

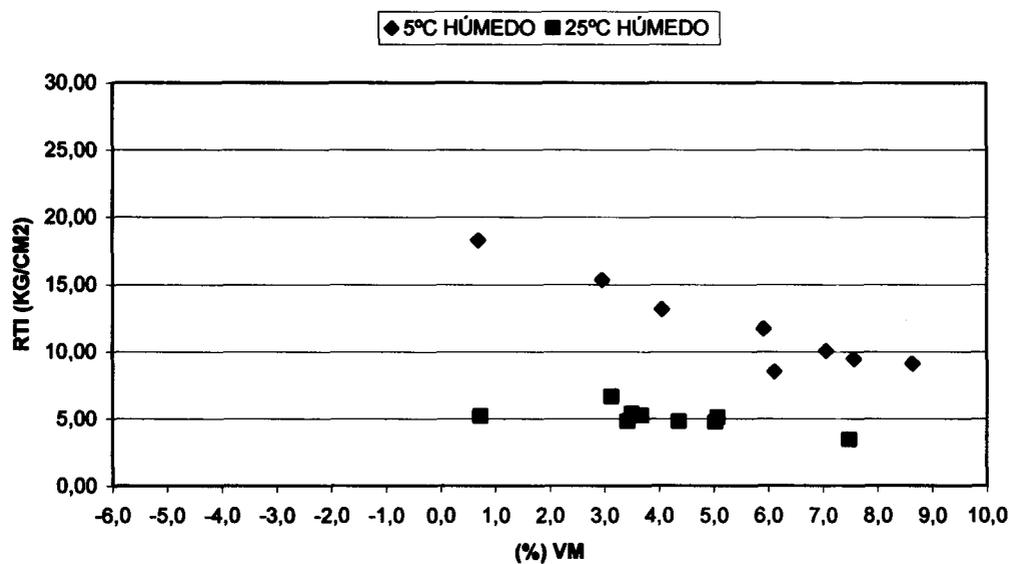
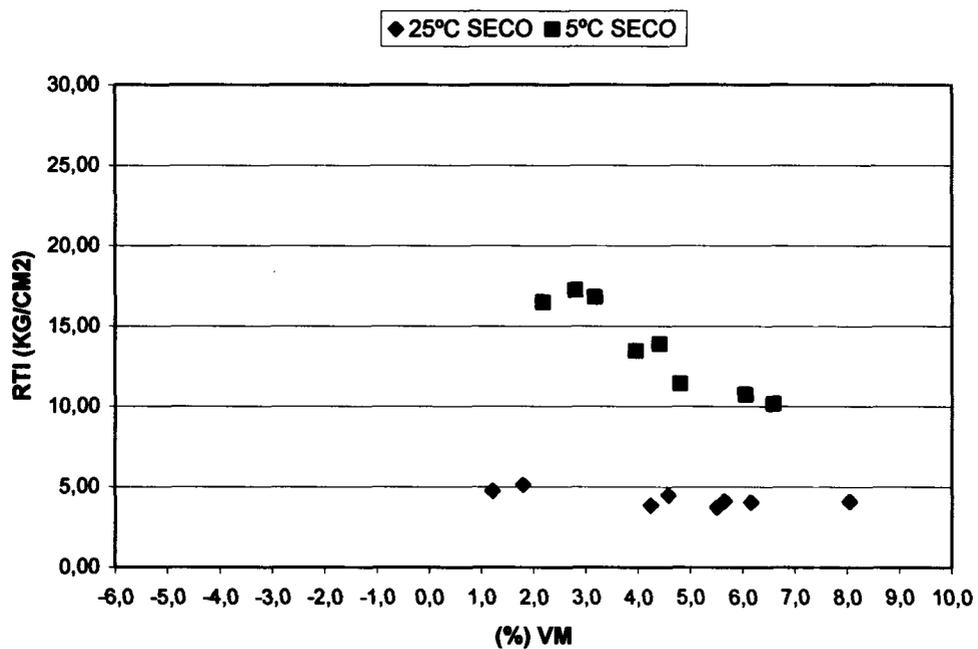


Gráfico 5.24.- RTI a 5°C y 25°C (Húmedo) vs. %VM en campo.



El la tabla 5.9 se tiene los resultados del PM, donde se vuelve a confirmar el mismo comportamiento de la RTI con el PM, siendo no proporcional.

Tabla 5.9.- Resultados de PM para los ensayos de campo.

PSEUDO MODULO				
SECO		$\mu$	$\sigma$	cv
PM (kg/cm)	5°C	685,01	245,16	0,358
PM (kg/cm)	25°C	222,94	66,88	0,300
HUMEDO		$\mu$	$\sigma$	cv
PM (kg/cm)	5°C	575,75	176,99	0,307
PM (kg/cm)	25°C	256,03	71,56	0,280

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Limón, R., “Propuesta para diseño y el control en campo de las mezclas asfálticas”.III Congreso Mexicano del Asfalto, AMAAC, México, DF, 2003.
- [2] Herrera, J., “Criterios de Aceptación de mezclas elaboradas con asfaltos modificados. III Congreso Mexicano del Asfalto, AMAAC, México, D. F. 2003.
- [3] Nosetti, R.A., Daguerre, L., Nougues,F., Arancibia, M., Schuartzter, F., Mandolesi, R., “Pavimentos Asfálticos de características especiales aplicados en la ciudad autónoma de Bueno Aries”. XII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, CILA, Quito, Ecuador, 2003.
- [4] Martínez, A.H., “Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución”. Tesis Doctoral. ETSECCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2000.
- [5] Marcozzi, R., “Análisis preliminar sobre la utilización del ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas diseñadas mediante el sistema Superpave. XI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, CILA, Lima, Peru, 2001.
- [6] Leahy, R.B., McGennis, R.B., “Asphalt Mixes: Materials, Design and Characterization”. Asphalt Paving Technology 1999. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, USA, pp. 70-127.
- [7] Challenge Technology, “Evaluator of Rutting and Stripping in Asphalt Pavements”. Consultado de la dirección electrónica: <http://www.challenge-sys.com>

- [8] Texas Department of Transportation, "The Texas Mobile Load Simulator", Progress Report.
- [9] Wouter, G., "Georgia's Loaded Wheel Tester". Consultado de la dirección electrónica: <http://www.dot.state.ga.us/homeoffs/fpmr/www/index.html>
- [10] Quintanilla, A.M, "Evaluación de mezclas asfálticas frente a deformaciones plásticas permanentes mediante el ensayo de pista en laboratorio". Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, Mexico, 1998.
- [11] Richardson, C., The modern Asphalt Pavement, John Wiley & Sons, New York, EUA, 1908.
- [12] Shell Bitumen, "The Shell Bitumen Industrial Hand Book" Londres: Thomas Telford. 1995.
- [13] Collop, A.C., Airey, G.D., Zoorob, S.E., "Pavement Engineering H23P01", The University of Nottingham, Nottingham, Inglaterra, 2003.
- [14] King, G., King, H., Pavlovich, R.D., Epps A., Kandhal, P., "Additives in Asphalt". Asphalt Paving Technology 1999. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, USA, pp. 32-69.
- [15] Traxler, R., "Rheology and Rheological Modifiers other than Elastomers: Structure and Time", Texas Transportation Institute, Texas A&M University.
- [16] Pérez Jiménez, F., Miró Recasens, R., "Curso de Mezclas Bituminosas y pavimentos Asfálticos". Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2002.
- [17] Schmelkes, Corina. "*Manual para la presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación*". Oxford University Press.1998
-

- [18] Hunter, N.R., "Asphalts In Road Construction", Londres, Thomas Telford. 2000.
- [19] Huang, H. Y., "Pavement analysis and design", Estados Unidos, Prentice Hall. 1993
- [20] Cepeda, J., "Aplicación del Ensayo de Tensión Indirecta (Compresión Diametral) al Diseño de Mezclas Densas"III Congreso Mexicano del Asfalto, AMAAC, México, D. F. 2003.

**ANEXOS**

**A-1 RESULTADOS DE TENSION INDIRECTA-PSEUDO  
MODULO- DENSIDADES**

**A-1-1      RESULTADOS DE LABORATORIO**

---



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**RESUMEN RTI-PM-DPP-DENSIDADES SSS**

FABRICACION	
LABORATORIO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO      CONTROL
	MEZCLA TIPO:DENSA
	FECHA: ABRIL/2004

TIPO DE ASFALTO	SB	SBS			AC-20			EVA					
<b>RESISTENCIA A TENSION INDIRECTA (RTI)</b>													
<b>SECO</b>													
	$\mu$	$\sigma$	$\omega$										
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	25,15	2,55	0,101	23,21	1,01	0,043	21,31	1,17	0,055	23,87	2,80	0,117
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	8,47	0,38	0,045	6,29	0,47	0,075	7,14	0,35	0,050	7,50	0,77	0,103
<b>HUMEDO</b>													
	$\mu$	$\sigma$	$\omega$										
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	23,35	1,79	0,077	24,84	1,42	0,057	22,61	2,75	0,122	21,50	2,05	0,095
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	8,62	0,36	0,042	8,10	0,40	0,049	6,37	0,34	0,053	7,58	0,71	0,094
<b>TIPO DE ASFALTO</b>													
	SB	SBS			AC-20			EVA					
<b>PSEUDO MODULO</b>													
<b>SECO</b>													
	$\mu$	$\sigma$	$\omega$										
PM (kg/cm)	5°C	1241,89	284,50	0,229	1147,74	149,65	0,130	1116,12	156,17	0,140	1200,01	165,62	0,138
PM (kg/cm)	25°C	557,57	73,58	0,132	344,30	68,46	0,199	481,11	66,74	0,139	480,18	133,48	0,278
<b>HUMEDO</b>													
	$\mu$	$\sigma$	$\omega$										
PM (kg/cm)	5°C	1184,57	208,09	0,176	1274,20	108,48	0,085	1039,56	262,90	0,253	884,86	244,97	0,277
PM (kg/cm)	25°C	462,43	98,63	0,213	518,64	150,06	0,289	433,18	65,14	0,150	422,16	75,28	0,178
<b>TIPO DE ASFALTO</b>													
	SB	SBS			AC-20			EVA					
<b>ENSAYO DE PISTA</b>													
DPP (mm)	60°C	13,95			12,50			25,40			4,66		
CA	%	4,9			4,9			4,9			4,9		
<b>TIPO DE ASFALTO</b>													
	SB	SBS			AC-20			EVA					
<b>DENSIDAD SSS</b>													
	$\mu$	$\sigma$	$\omega$										
D SSS (gr/cm <sup>3</sup> )		2,48	0,01	0,002	2,49	0,01	0,002	2,48	0,01	0,002	2,48	0,01	0,002
%Vacios Mezcla		-1,12	0,21	0,185	-1,32	0,21	0,163	-1,16	0,21	0,185	-1,13	0,22	0,197

Observaciones:	Laboralista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca
----------------	------------------------------	-------------------------------

		INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS MONTERREY DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS																ENSAYO DE TENSION INDIRECTA RESULTADOS DE													
		FABRICACION																RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL													
		LABORATORIO																OBRA: MTY-LAREDO CONTROL II													
		ASFALTO																MEZCLA TIPO:DENSA													
																AC-20		FECHA: ABRIL/2004													
		C.A =					4,90%					C.A =					4,90%					C.A =					4,90%				
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
Altura I (Cm)	63,00	63,66	62,36	63,54	62,44	62,36	63,60	63,10	63,24	62,56	63,02	63,24	62,78	62,64	62,44	63,42	62,50	62,16	63,06	63,00	62,86	63,00	62,66	62,64							
Altura II (Cm)	62,98	63,64	62,88	62,88	62,50	62,84	63,14	62,00	62,86	62,36	63,16	63,28	62,90	62,12	62,44	63,24	63,00	61,74	62,92	62,92	63,32	62,64	62,46	63,00							
Altura III (Cm)	63,58	63,40	63,66	63,70	62,54	62,58	63,28	62,84	63,24	62,60	63,00	63,00	63,34	62,34	62,54	62,76	62,76	62,02	63,00	63,20	62,34	62,84	62,46	62,30							
h prom	63,19	63,57	62,97	63,37	62,49	62,59	63,34	62,65	63,11	62,51	63,06	63,17	63,01	62,37	62,47	63,14	62,75	61,97	62,99	63,04	62,84	62,83	62,53	62,65							
Peso (gr)	1251,90	1254,40	1246,00	1251,10	1246,40	1250,90	1252,30	1254,80	1254,70	1248,40	1251,50	1249,80	1249,20	1251,90	1246,70	1253,20	1251,50	1237,50	1253,10	1254,40	1250,20	1253,30	1251,30	1249,70							
D SSS (gr/cm3)	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,48	2,48	2,50	2,49	2,48	2,48	2,49	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49							
D.Aparente (gr/cm3)	2,44	2,43	2,44	2,44	2,46	2,47	2,44	2,47	2,45	2,46	2,45	2,44	2,45	2,48	2,46	2,45	2,46	2,45	2,45	2,45	2,45	2,46	2,47	2,46							
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16							
Carga(Kg)	2330,00	2060,00	2000,00	2200,00	2090,00	2180,00	660,00	740,00	720,00	740,00	745,00	700,00	645,00	585,00	620,00	635,00	690,00	645,00	2350,00	2570,00	2550,00	1930,00	1950,00	2250,00							
P <sub>z</sub> (Kg/cm2)	23,11	20,31	19,90	21,75	20,96	21,82	6,53	7,40	7,15	7,42	7,40	6,94	6,41	5,88	6,22	6,30	6,89	6,52	23,38	25,54	25,43	19,25	19,54	22,50							
$\mu$	21,31					7,14					6,37					22,81															
$\sigma$	1,17					0,35					0,34					2,75															
cv	0,05					0,05					0,05					0,12															
Temp 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C							
Tiempo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs												
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C																		
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs							
PSEUDO MODULO																															
Carga/2 (Kg)	1165,00	1030,00	1000,00	1100,00	1045,00	1090,00	330,00	370,00	360,00	370,00	372,50	350,00	322,50	292,50	310,00	317,50	345,00	322,50	1175,00	1285,00	1275,00	965,00	975,00	1125,00							
Delta (Cm)	0,84	0,91	1,02	0,94	1,09	1,02	0,61	0,76	0,66	1,02	0,76	0,76	0,79	0,81	0,76	0,58	0,74	0,79	1,02	0,86	1,32	1,27	1,17	1,09							
P <sub>1/2</sub> (Kg/cm2)	1386,90	1131,87	980,39	1170,21	958,72	1068,63	540,98	486,84	545,45	362,75	490,13	460,53	408,23	361,11	407,89	547,41	466,22	408,23	1151,96	1494,19	965,91	759,84	833,33	1032,11							
$\mu$	1116,12					481,11					433,18					1039,56															
$\sigma$	156,17					66,74					65,14					262,90															
cv	0,14					0,14					0,15					0,25															
Observaciones:																															
																		Laboratorista: José Garduño P.				Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca									



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

FABRICACION LABORATORIO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO      CONTROL II
AC-20	MEZCLA TIPO:DENSA
FECHA: ABRIL/2004	

Probeta	C.A =					4,90%					C.A =					4,90%								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	1251,90	1254,40	1246,00	1251,10	1246,40	1250,90	1252,30	1254,80	1254,70	1248,40	1251,50	1249,80	1249,20	1251,90	1246,70	1253,20	1251,50	1237,50	1253,10	1254,40	1250,20	1253,30	1251,30	1249,70
B	1253,20	1254,40	1247,20	1253,10	1247,10	1251,80	1253,60	1255,60	1255,50	1249,20	1252,30	1251,30	1250,80	1252,60	1248,00	1254,50	1252,60	1238,30	1254,50	1255,10	1251,00	1254,60	1252,00	1250,40
C	748,40	748,40	744,70	748,20	746,00	749,60	748,60	750,60	750,40	747,40	749,00	746,40	746,80	751,10	746,70	749,40	748,70	741,00	749,90	749,60	749,00	750,70	749,90	748,20
D SSS (gr/cm3)	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,48	2,48	2,48	2,50	2,49	2,48	2,48	2,49	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49
% absorcion	0,10%	0,00%	0,10%	0,16%	0,06%	0,07%	0,10%	0,06%	0,06%	0,06%	0,12%	0,13%	0,06%	0,10%	0,09%	0,06%	0,11%	0,06%	0,11%	0,06%	0,10%	0,06%	0,06%	0,06%
$\mu$	2,48					2,48					2,49					2,49								
$\sigma$	0,005					0,005					0,007					0,004								
cv	0,002					0,002					0,003					0,002								
$\mu$	2,48																							
$\sigma$	0,01																							
cv	0,002																							
Temp 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	60°C										
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C												
Tempo	24 hrs																							

% VACIOS EN MEZCLA																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
% Peso de la Mezcla: Arena (a)	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
% Peso de la Mezcla: Agregado (r)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33
(v) = r/P.E. Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18
(q) = b/P.E. Asfalto	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
(s) = v + q	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71
(g) = 100/s	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
Volumen = fig x 100	100,97	100,93	100,95	100,88	101,27	101,41	100,96	101,16	101,13	101,29	101,24	100,78	100,87	101,63	101,25	101,01	101,12	101,31	101,10	101,03	101,39	101,26	101,46	101,31
%VM = 100 - Vol.	-0,97	-0,93	-0,95	-0,88	-1,27	-1,41	-0,96	-1,16	-1,13	-1,29	-1,24	-0,78	-0,87	-1,63	-1,25	-1,01	-1,12	-1,31	-1,10	-1,03	-1,39	-1,26	-1,46	-1,31
$\mu$	-1,16																							
$\sigma$	0,21																							
cv	0,185																							

Observaciones:

P.E. Asfalto	1,03	gr/cm3	
P.E. Agregado	2,635	gr/cm3	
Peso pedreo	1200	gr	

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	CONTROL
	OBRA: MTY-LAREDO	MEZCLA TIPO:DENSA (KOCH)
	FECHA: ABRIL/2004	
	AC-20 +3% SB	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	63,34	62,76	63,64	63,00	63,16	63,30	62,86	63,36	63,46	63,00	62,86	62,94	62,84	63,42	62,66	63,26	63,50	62,76	63,00	63,00	62,80	63,00	63,14	63,00
Altura II (Cm)	63,24	62,56	63,74	63,64	63,24	63,26	63,40	63,60	63,12	63,14	62,74	63,00	62,82	63,14	63,00	63,26	63,00	62,52	62,98	63,00	63,10	63,00	62,44	62,96
Altura III (Cm)	62,86	63,00	63,54	63,20	63,00	63,24	62,46	63,24	62,94	63,90	62,92	62,76	62,56	63,30	63,68	62,96	62,92	63,14	63,00	63,50	62,85	63,04	62,92	62,76
h prom	63,15	62,77	63,64	63,28	63,13	63,27	62,91	63,40	63,17	63,35	62,84	62,90	62,74	63,29	63,11	63,16	63,14	62,81	62,99	63,17	62,92	63,01	62,83	62,91
Peso (gr)	1248,20	1253,00	1252,10	1248,70	1254,70	1252,90	1254,10	1252,80	1254,20	1253,30	1252,90	1253,30	1256,20	1253,20	1250,40	1255,70	1252,50	1250,30	1250,70	1250,60	1253,00	1252,00	1247,80	1247,80
D SSS (gr/cm3)	2,47	2,48	2,47	2,48	2,48	2,48	2,48	2,47	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,48	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49
D.Aparente (gr/cm3)	2,44	2,46	2,43	2,43	2,45	2,44	2,46	2,44	2,45	2,44	2,46	2,46	2,47	2,44	2,44	2,45	2,45	2,46	2,45	2,44	2,45	2,45	2,46	2,45
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	2300,00	2300,00	2050,00	2480,00	2500,00	2500,00	860,00	860,00	880,00	830,00	930,00	850,00	880,00	790,00	850,00	890,00	870,00	830,00	2670,00	2300,00	2300,00	2840,00	2755,00	2300,00
P <sub>r</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	22,82	22,96	20,18	24,56	24,81	24,76	8,57	8,50	8,73	8,21	9,27	8,47	8,79	7,82	8,44	8,83	8,63	8,28	26,56	22,82	22,91	28,24	27,47	22,91
μ	23,35					8,62					8,47					25,15								
σ	1,79					0,36					0,38					2,95								
cv	0,08					0,04					0,04					0,10								
Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C											
Tiempo	24 hrs																							
<b>PSEUDO MODULO</b>																								
Carga/2 (Kg)	1150,00	1150,00	1025,00	1240,00	1250,00	1250,00	430,00	430,00	440,00	415,00	465,00	425,00	440,00	395,00	425,00	445,00	435,00	415,00	1335,00	1150,00	1150,00	1420,00	1377,50	1150,00
Delta (Cm)	1,19	1,02	1,02	1,00	1,02	0,81	1,27	1,04	0,74	1,04	0,99	0,76	0,76	0,84	0,76	0,79	0,84	0,84	1,27	1,27	1,02	1,14	0,81	0,81
PM (Kg/cm <sup>2</sup> )	966,39	1127,45	1004,90	1240,00	1225,49	1543,21	338,58	413,46	594,59	399,04	469,70	559,21	578,95	470,24	559,21	563,29	679,69	494,05	1051,18	905,51	1127,45	1245,61	1700,62	1419,75
μ	1184,57					462,43					557,57					1241,69								
σ	208,09					98,63					73,58					284,90								
cv	0,18					0,21					0,13					0,23								

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS MONTERREY DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS <b>INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS</b>																						FABRICACION LABORATORIO					
		C.A =										C.A =										ASFALTO		OBRA: MTY-LAREDO		CONTROL	
		4,90%										4,90%										MEZCLA TIPO:DENSA (KOCH)					
		4,90%										4,90%										FECHA: ABRIL/2004					
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
A	1248,20	1253,00	1252,10	1248,70	1254,70	1252,90	1254,10	1252,80	1254,20	1253,30	1252,90	1253,30	1256,20	1253,20	1250,40	1255,70	1252,50	1250,30	1250,70	1250,60	1253,00	1252,00	1247,80				
B	1249,70	1254,20	1253,90	1250,00	1255,70	1254,40	1254,90	1254,70	1255,60	1254,30	1253,50	1254,00	1256,90	1254,40	1251,10	1256,20	1253,60	1250,90	1251,20	1251,80	1251,40	1253,70	1252,90	1248,90			
C	744,30	749,80	747,50	746,30	750,10	748,30	750,00	748,30	751,10	749,20	748,90	749,20	752,50	749,70	748,40	751,00	749,00	748,50	747,70	747,60	748,00	749,60	749,30	747,00			
D SSS (gr/cm3)	2,47	2,48	2,47	2,48	2,48	2,48	2,48	2,47	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,48	2,49	2,49	2,48	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49			
% absorcion	0,12%	0,10%	0,14%	0,10%	0,08%	0,12%	0,06%	0,15%	0,11%	0,08%	0,05%	0,06%	0,06%	0,10%	0,06%	0,04%	0,09%	0,05%	0,10%	0,09%	0,06%	0,06%	0,07%	0,09%			
$\mu$	2,48											2,48															
$\sigma$	0,005											0,004															
cv	0,002											0,001															
$\mu$	2,48																										
$\sigma$	0,01																										
cv	0,002																										
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C									
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs			
<b>% VACIOS EN MEZCLA</b>																											
n	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67			
Agregado (r)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33			
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18			
Asfalto	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56			
(q)= v + q	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74	40,74			
(g)= 100/e	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45			
100	100,60	101,19	100,72	100,98	101,09	100,84	101,18	100,78	101,27	101,08	101,14	101,14	101,45	101,15	101,32	101,25	101,11	101,38	101,13	101,05	101,20	101,25	101,27	101,27			
%VM = 100 - Vol.	-0,60	-1,19	-0,72	-0,98	-1,09	-0,84	-1,18	-0,78	-1,27	-1,08	-1,14	-1,14	-1,45	-1,15	-1,32	-1,25	-1,11	-1,38	-1,13	-1,05	-1,20	-1,25	-1,27	-1,27			
$\mu$	-1,12																										
$\sigma$	0,21																										
cv	0,185																										
Observaciones:	P.E. Asfalto 1,025 gr/cm3 P.E. Agregado 2,635 gr/cm3 Peso petreo 1200 gr												Laboralista: José Garduño P.											Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca			



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ABFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	
	OBRA: MTY-LAREDO	CONTROL
	MEZCLA TIPO:DENSA	
AC-20 + 2.5% SBS	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	62,34	62,36	62,28	62,88	62,36	62,60	61,96	62,00	62,66	62,74	62,54	62,00	62,92	63,00	62,80	62,00	62,00	62,82	62,18	63,30	63,12	63,14	63,44	63,60
Altura II (Cm)	62,38	62,52	62,54	62,60	62,46	62,36	61,00	62,00	62,70	62,80	62,58	62,50	62,36	62,00	62,56	62,46	61,86	62,78	62,20	63,00	62,94	62,86	63,50	62,76
Altura III (Cm)	62,00	62,54	62,00	62,40	62,84	61,60	61,62	62,00	62,26	62,76	62,66	62,00	62,50	62,20	62,58	62,60	62,40	62,42	61,68	63,32	62,46	62,76	63,44	63,64
h prom	62,24	62,47	62,27	62,63	62,55	62,19	61,53	62,00	62,54	62,77	62,59	62,17	62,59	62,40	62,65	62,35	62,09	62,61	62,02	63,21	62,84	62,92	63,46	63,33
Peso (gr)	1250,50	1248,90	1245,00	1251,00	1251,20	1248,50	1248,90	1246,90	1252,60	1249,90	1251,30	1253,20	1250,50	1251,90	1249,70	1250,90	1254,30	1231,50	1253,30	1250,80	1246,70	1262,80	1252,10	
D SBS (gr/cm3)	2,50	2,49	2,49	2,48	2,49	2,49	2,50	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49
D Agregado (gr/cm3)	2,48	2,47	2,47	2,46	2,47	2,48	2,50	2,48	2,47	2,46	2,46	2,48	2,47	2,47	2,46	2,47	2,49	2,47	2,45	2,45	2,46	2,44	2,45	2,44
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	2275,00	2450,00	2300,00	2400,00	2290,00	2150,00	2650,00	2350,00	2300,00	2590,00	2500,00	2430,00	745,00	850,00	820,00	830,00	820,00	780,00	585,00	630,00	580,00	640,00	640,00	720,00
Fa (Kg/cm2)	22,90	24,57	23,14	24,01	22,94	21,66	26,99	23,75	23,04	25,76	25,03	24,49	7,46	8,54	8,20	8,34	8,28	7,81	5,91	6,25	5,78	6,37	6,32	7,12
$\mu$	23,21					24,84					8,10					8,29								
$\sigma$	1,01					1,42					0,40					0,47								
cv	0,04					0,06					0,05					0,07								

Temp 1	---	---	---	---	---	---	60°C	---	---	---	---	---	---										
Tiempo	---	---	---	---	---	---	24 hrs	---	---	---	---	---	---										
Temp 2	5°C	25°C																					
Tiempo	24 hrs																						

**PSEUDO MODULO**

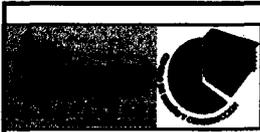
Carga2 (Kg)	1137,50	1225,00	1150,00	1200,00	1145,00	1075,00	1325,00	1175,00	1150,00	1290,00	1250,00	1215,00	372,50	425,00	410,00	415,00	410,00	390,00	292,50	315,00	290,00	320,00	320,00	360,00
Delta (Cm)	0,86	0,91	1,14	1,14	1,02	1,04	0,97	0,91	1,02	1,12	0,91	0,91	1,09	0,79	0,66	0,56	1,09	0,79	1,02	0,91	0,94	1,07	0,91	0,76
Pm (Kg/cm)	1322,67	1346,15	1008,77	1052,63	1122,55	1033,85	1365,98	1291,21	1127,45	1151,79	1373,63	1335,16	341,74	537,97	621,21	741,07	376,15	493,67	286,76	346,15	308,51	299,07	351,65	473,68
$\mu$	1147,74					1274,20					518,64					344,30								
$\sigma$	149,85					108,48					150,06					68,46								
cv	0,13					0,09					0,29					0,20								

Observaciones:

Laboralista: José Gerardo P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS MONTERREY DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS																																	
		FABRICACION																															
		LABORATORIO																															
		ASFALTO																		OBRA: MTY-LAREDO				CONTROL									
		AC-20 + 2.5% SBS																		MEZCLA TIPO:DENSA								FECHA: ABRIL/2004					
	C.A =					4.90%					C.A =					4.90%					C.A =					4.90%							
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24									
A	1250,50	1248,90	1245,00	1251,00	1251,20	1248,50	1248,90	1246,90	1252,00	1252,60	1249,90	1251,30	1253,20	1250,50	1251,90	1249,70	1250,90	1254,30	1231,50	1253,30	1250,80	1246,70	1262,80	1252,10									
B	1251,50	1250,90	1246,30	1252,40	1252,50	1250,00	1249,50	1247,80	1253,50	1254,50	1251,00	1252,50	1252,40	1250,00	1252,90	1250,60	1252,00	1255,50	1232,60	1254,60	1252,10	1248,10	1264,00	1253,30									
C	750,80	749,00	746,70	748,80	750,10	748,10	749,90	747,40	749,20	748,70	747,60	749,20	748,80	748,70	749,00	747,00	749,10	749,70	737,60	750,70	749,30	747,10	756,70	750,20									
D SSS (gr/cm3)	2,50	2,49	2,49	2,48	2,49	2,49	2,50	2,49	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49									
% absorcion	0,06%	0,16%	0,10%	0,11%	0,10%	0,12%	0,05%	0,07%	0,12%	0,15%	0,09%	0,10%	-0,06%	-0,04%	0,08%	0,07%	0,09%	0,10%	0,09%	0,10%	0,10%	0,11%	0,10%	0,10%									
$\mu$	2,49					2,49					2,49					2,49																	
$\sigma$	0,005					0,008					0,005					0,001																	
cv	0,002					0,003					0,002					0,000																	
$\mu$	2,49																																
$\sigma$	0,01																																
cv	0,002																																
Temp 1	---					60°C					60°C					60°C					60°C												
Tiempo	---					24 hrs					24 hrs					24 hrs					24 hrs												
Temp 2	5°C					5°C					5°C					5°C					25°C												
Tiempo	24 hrs					24 hrs					24 hrs					24 hrs					24 hrs												
<b>% VACIOS EN MEZCLA</b>																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24									
Peso de la Mezcla Anillo p	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67									
Agregado (1)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33									
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18									
Asfalto	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55									
(s) = v + q	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73	40,73									
(g) = 100/s	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46									
100	101,71	101,34	101,49	101,17	101,43	101,31	101,81	101,48	101,11	100,86	101,12	101,25	101,35	101,59	101,18	101,06	101,30	100,99	101,32	101,29	101,31	101,34	101,38	101,36									
%VM = 100 - Vol.	-1,71	-1,34	-1,49	-1,17	-1,43	-1,31	-1,81	-1,48	-1,11	-0,86	-1,12	-1,25	-1,35	-1,59	-1,18	-1,06	-1,30	-0,99	-1,32	-1,29	-1,31	-1,34	-1,38	-1,36									
$\mu$	-1,32																																
$\sigma$	0,21																																
cv	0,163																																
Observaciones:																																	
P.E. Asfalto	1,027 gr/cm3																																
P.E. Agregado	2,635 gr/cm3																																
Peso petreo	1200 gr																																
																		Laboratista: José Garduño P.															
																		Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca															



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	CONTROL
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MEZCLA TIPO:DENSA
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Altura I (Cm)	62,68	63,58	63,00	63,80	63,54	62,76	62,88	63,74	63,22	63,72	63,34	62,76	62,56	62,36	62,86	62,74	63,16	62,96	63,44	63,04	62,90	63,82	64,10	63,36		
Altura II (Cm)	63,62	63,36	63,40	63,52	63,78	63,34	62,86	63,54	63,00	64,12	63,04	62,72	62,84	63,00	62,80	62,84	63,14	62,76	63,68	62,80	63,06	63,34	63,80	63,30		
Altura III (Cm)	62,66	63,54	63,10	63,94	63,36	62,66	62,36	64,42	63,60	63,68	62,74	62,94	62,66	62,74	62,38	62,86	63,48	62,68	64,00	62,84	62,92	63,20	63,88	63,24		
h prom	62,99	63,49	63,17	63,75	63,56	62,92	62,63	63,90	63,27	63,84	63,04	62,81	62,69	62,70	62,68	62,81	63,26	62,80	63,71	62,89	62,96	63,45	63,93	63,30		
Peso (gr)	1251,00	1253,40	1249,40	1252,50	1249,90	1249,30	1247,20	1253,40	1249,50	1254,20	1251,10	1257,50	1245,00	1251,30	1245,50	1251,90	1253,80	1256,50	1249,70	1250,00	1248,20	1252,30	1257,70	1251,40		
D SSS (gr/cm3)	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,50	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,47	2,48	2,49	2,48	2,48	2,48		
D Aparente (gr/cm3)	2,45	2,43	2,44	2,42	2,43	2,45	2,46	2,42	2,44	2,42	2,45	2,47	2,45	2,46	2,45	2,46	2,44	2,47	2,42	2,45	2,45	2,43	2,43	2,44		
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16		
Carga(Kg)	2450,00	2120,00	2120,00	2000,00	1970,00	2370,00	840,00	720,00	720,00	680,00	815,00	815,00	2280,00	2600,00	2300,00	2090,00	2240,00	2850,00	630,00	705,00	830,00	820,00	780,00	785,00		
Px (Kg/cm2)	24,37	20,92	21,03	19,66	19,42	23,60	8,40	7,06	7,13	6,67	8,10	8,13	22,79	25,98	22,99	20,85	22,19	28,44	6,20	7,02	8,26	8,10	7,65	7,77		
$\mu$	21,50					7,58					23,87					7,90										
$\sigma$	2,05					0,71					2,80					0,77										
cv	0,10					0,09					0,12					0,10										
Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---													
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---													
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C		
Tiempo	24 hrs																									
<b>PSEUDO MODULO</b>																										
Carga/2 (Kg)	1225,00	1060,00	1060,00	1000,00	985,00	1185,00	420,00	360,00	360,00	340,00	407,50	407,50	1140,00	1300,00	1150,00	1045,00	1120,00	1425,00	315,00	352,50	415,00	410,00	390,00	392,50		
Delta (Cm)	0,89	1,37	1,27	1,40	1,27	1,42	0,76	0,79	1,09	0,86	1,02	1,02	1,02	1,07	1,07	1,04	0,79	1,04	1,02	1,02	0,69	0,84	0,79	0,61		
PM (Kg/cm)	1376,40	773,72	834,65	714,29	775,59	834,51	552,63	455,70	330,28	395,35	399,51	399,51	1117,65	1214,95	1074,77	1004,81	1417,72	1370,19	308,82	345,59	601,45	488,10	493,67	643,44		
$\mu$	884,86					422,16					1200,01					480,18										
$\sigma$	244,97					75,28					165,62					133,48										
cv	0,28					0,18					0,14					0,28										

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION  
LABORATORIO

ASFALTO

OBRA: MTY-LAREDO

CONTROL

AC-20 + 1.5 EVA +  
0.3 AP

MEZCLA TIPO:DENSA

FECHA: ABRIL/2004

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	1251,00	1253,40	1249,40	1252,50	1249,90	1249,30	1247,20	1253,40	1249,50	1254,20	1251,10	1257,50	1245,00	1251,30	1245,50	1251,90	1253,80	1256,50	1249,70	1250,00	1248,20	1252,30	1257,70	1251,40
B	1254,40	1255,40	1250,80	1254,00	1252,00	1250,80	1248,80	1254,70	1251,50	1255,80	1251,90	1258,90	1246,20	1252,60	1247,00	1253,50	1255,50	1257,80	1251,80	1251,60	1249,50	1252,50	1259,60	1253,30
C	749,80	750,00	747,70	748,70	747,60	748,50	747,10	750,50	747,90	749,20	749,80	755,10	745,70	749,80	746,40	749,30	750,00	753,30	746,70	748,00	747,80	747,70	752,40	748,20
D SSS (gr/cm3)	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,50	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,49	2,47	2,48	2,49	2,48	2,48	2,48
% absorcion	0,27%	0,16%	0,11%	0,12%	0,17%	0,12%	0,13%	0,10%	0,16%	0,13%	0,06%	0,11%	0,10%	0,10%	0,12%	0,13%	0,14%	0,10%	0,17%	0,13%	0,10%	0,02%	0,15%	0,15%
$\mu$	2,48					2,49					2,49					2,48								
$\sigma$	0,004					0,007					0,004					0,005								
CV	0,001					0,003					0,002					0,002								
$\mu$	2,48																							
$\sigma$	0,01																							
CV	0,002																							
Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---												
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---												
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	
Tiempo	24 hrs																							
<b>% VACIOS EN MEZCLA</b>																								
n	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	
Agregado (1)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	
Asfalto	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	
(e) = v + q	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	
(g) = 100/s	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	
100	100,96	100,99	101,13	100,94	100,91	101,28	101,23	101,23	101,04	100,82	101,47	101,64	101,30	101,34	101,32	101,11	101,00	101,42	100,75	101,08	101,31	101,02	100,98	
%VM = 100 - Vol.	-0,96	-0,99	-1,13	-0,94	-0,91	-1,28	-1,23	-1,23	-1,04	-0,82	-1,47	-1,64	-1,30	-1,34	-1,32	-1,11	-1,00	-1,42	-0,75	-1,08	-1,31	-1,02	-0,98	
$\mu$	-1,13																							
$\sigma$	0,22																							
CV	0,197																							

**Observaciones:**

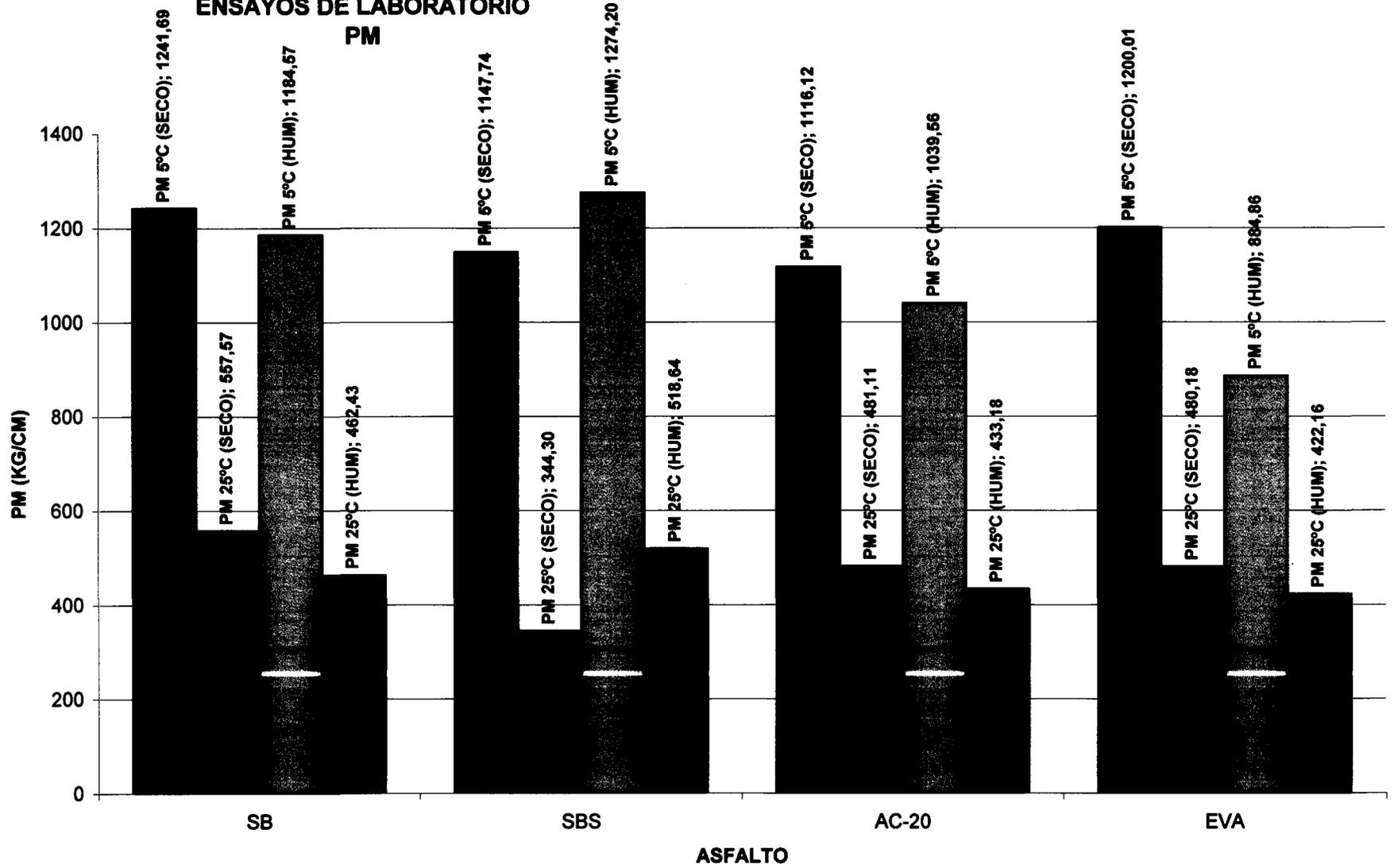
P.E. Asfalto 1,028 gr/cm3  
P.E. Agregado 2,635 gr/cm3  
Peso petreo 1200 gr

Laborarista: José Garduño P.

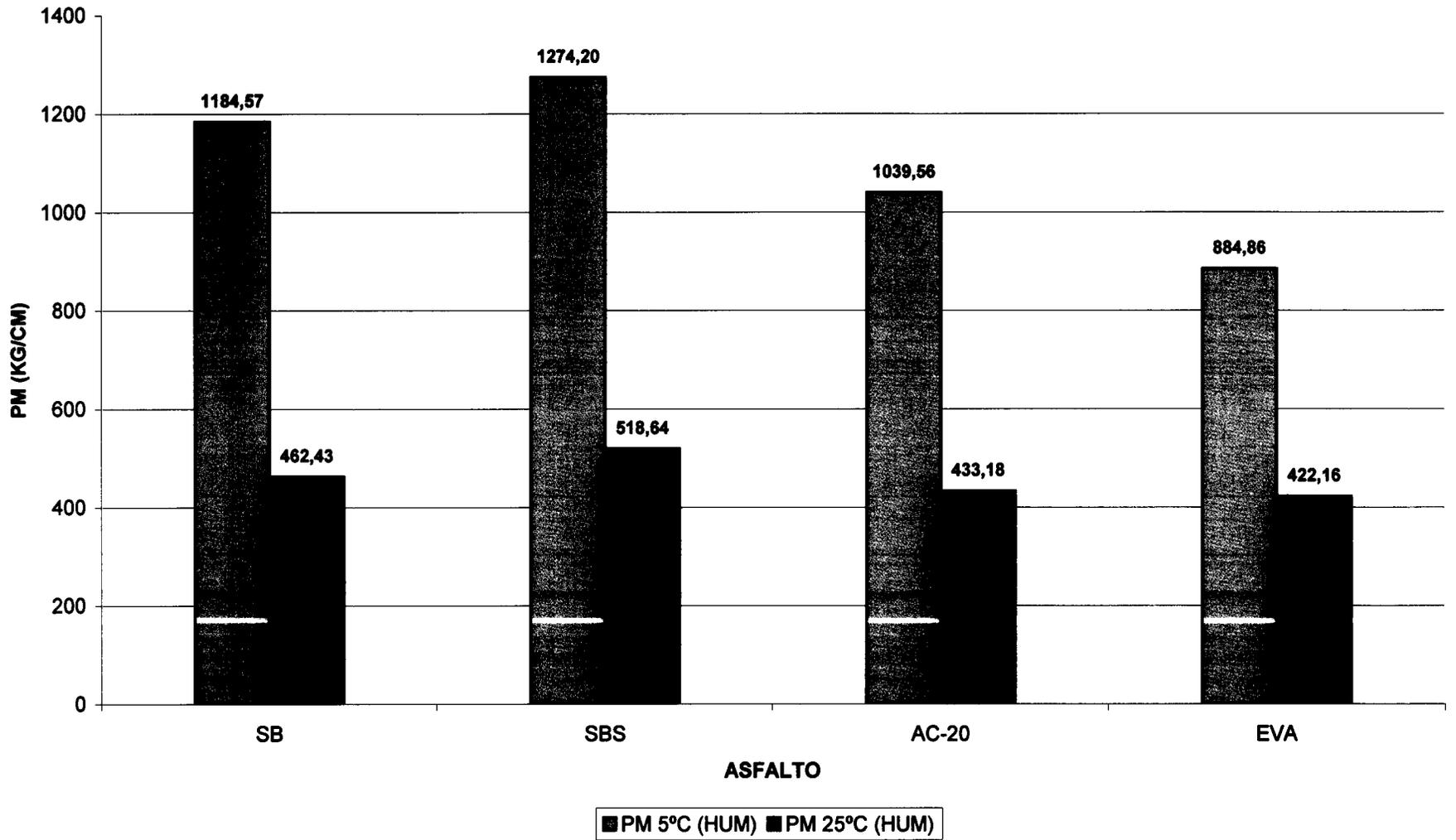
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

# RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

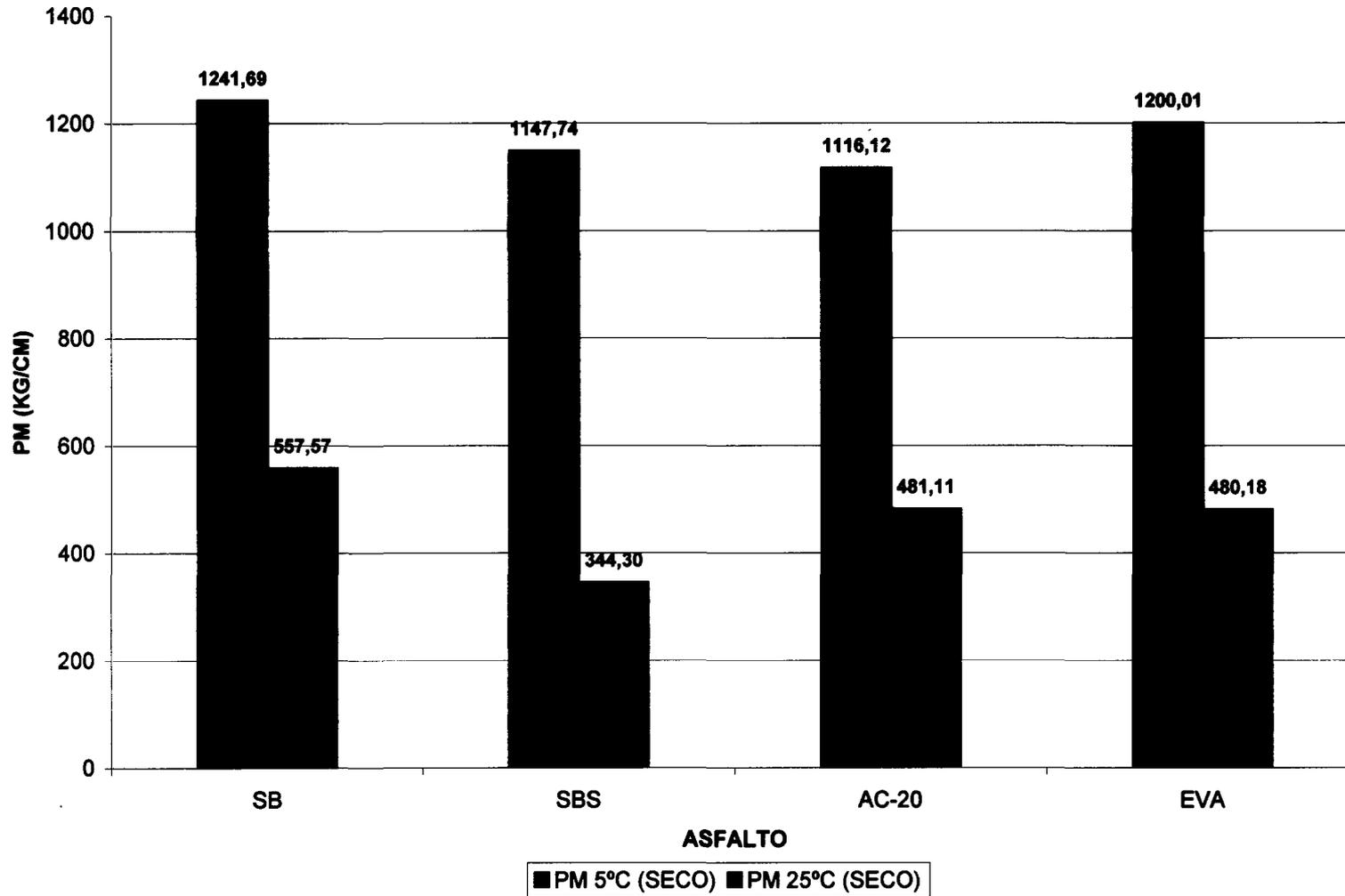
## PM



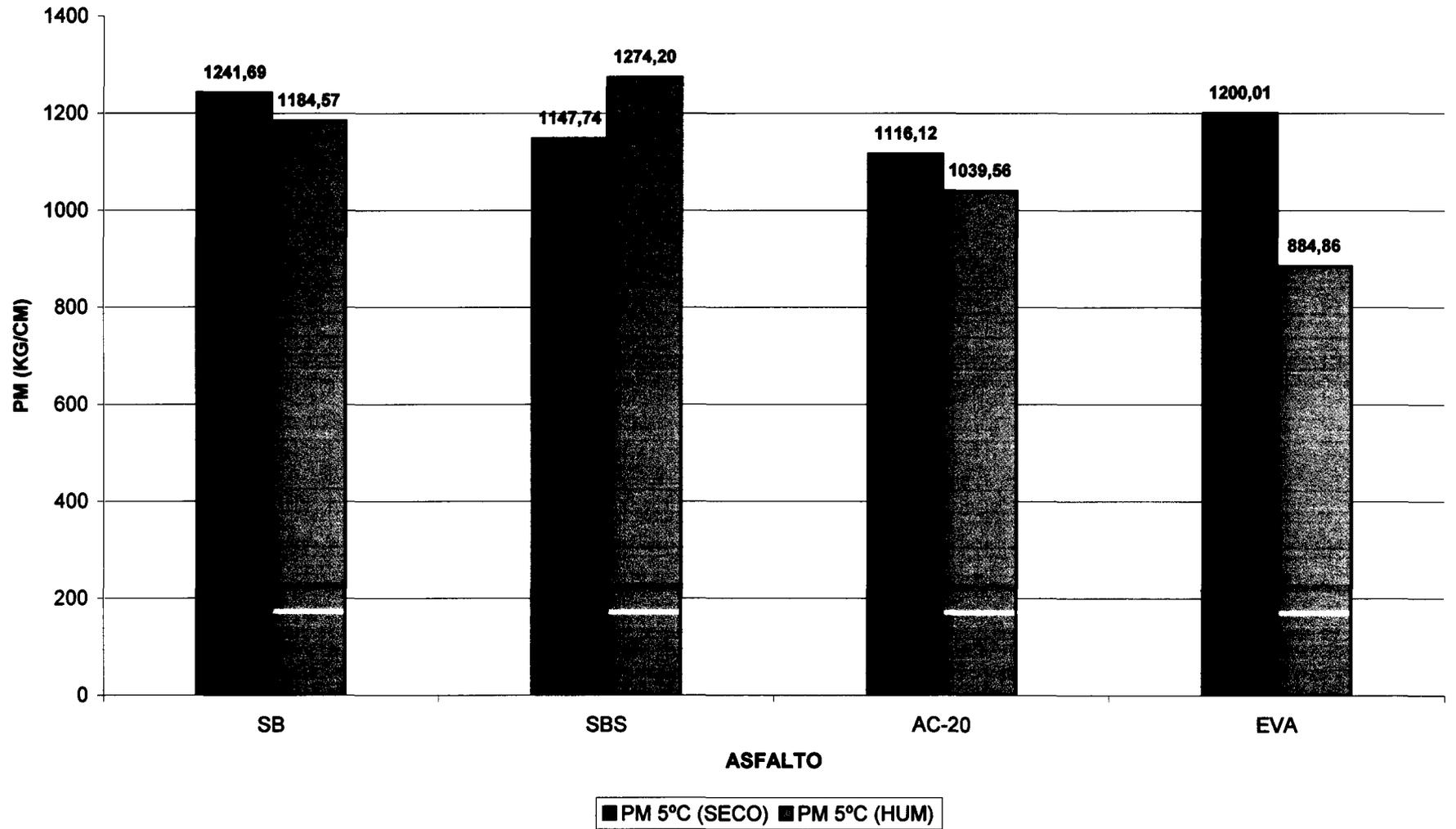
**ENSAYOS DE LABORATORIO  
PM 5°C Y 25°C (HUMEDO)**



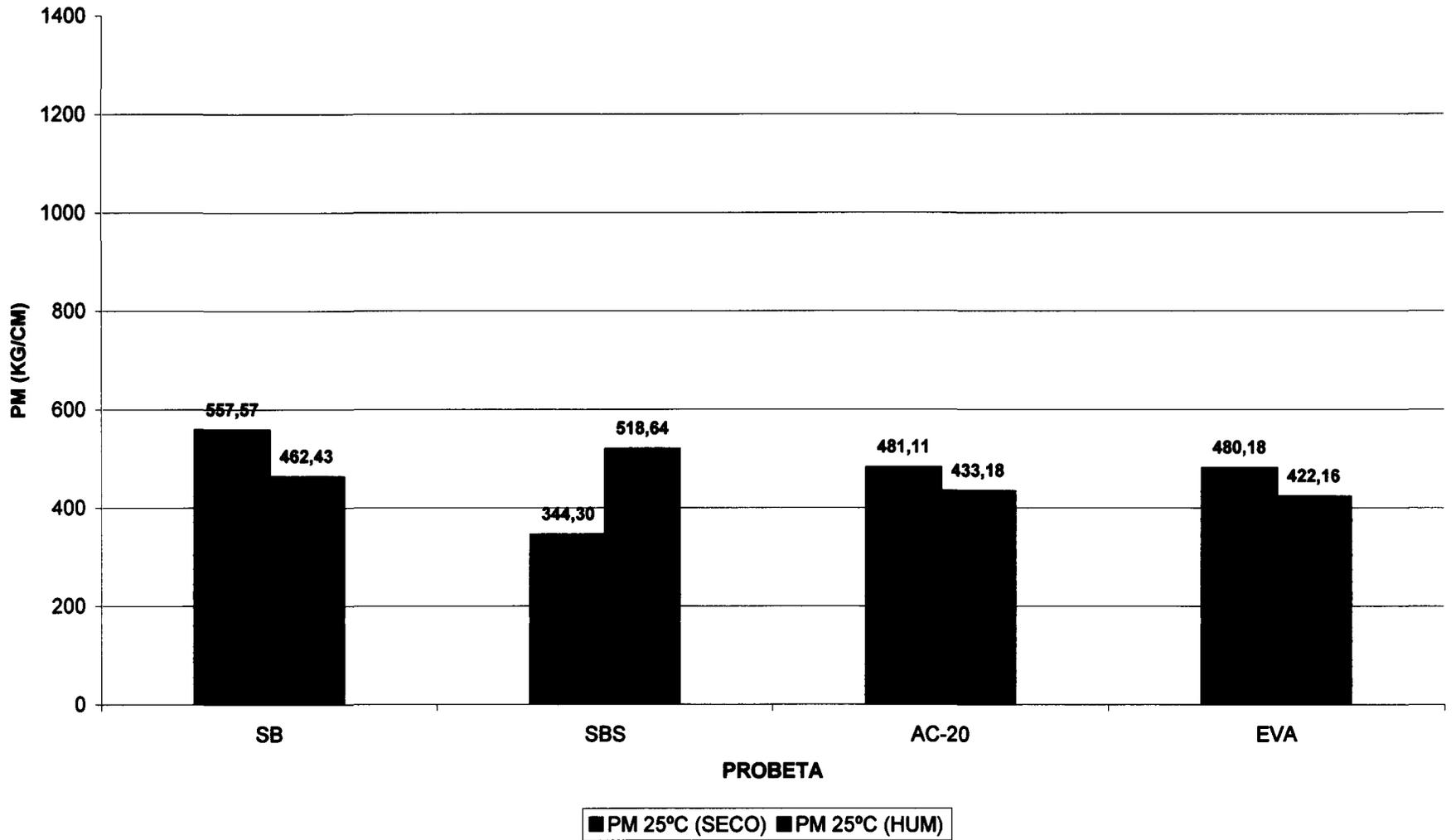
# ENSAYOS DE LABORATORIO PM 5°C Y 25°C (SECO)



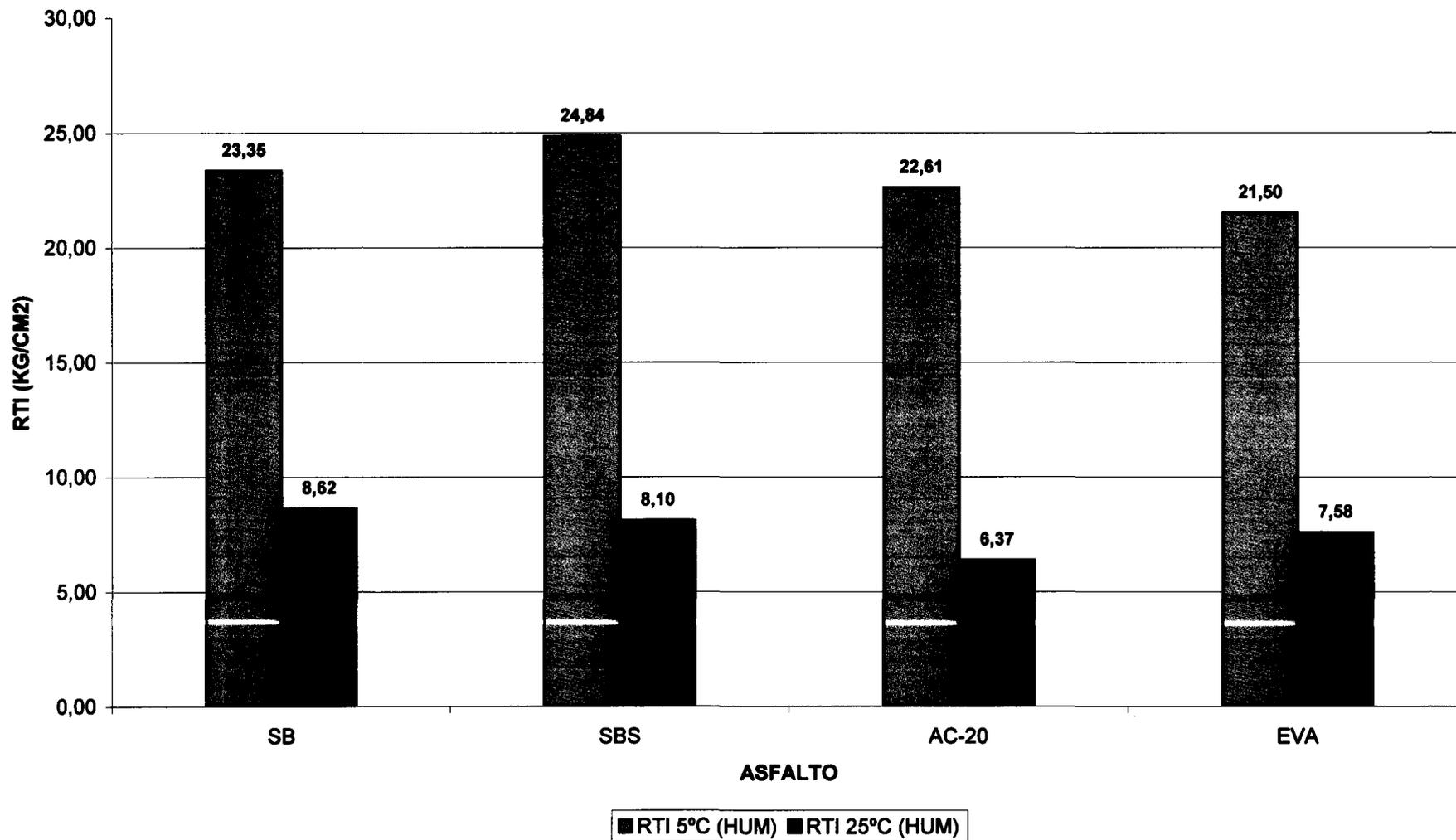
**ENSAYOS DE LABORATORIO  
PM 5°C (SECO Y HUMEDO)**



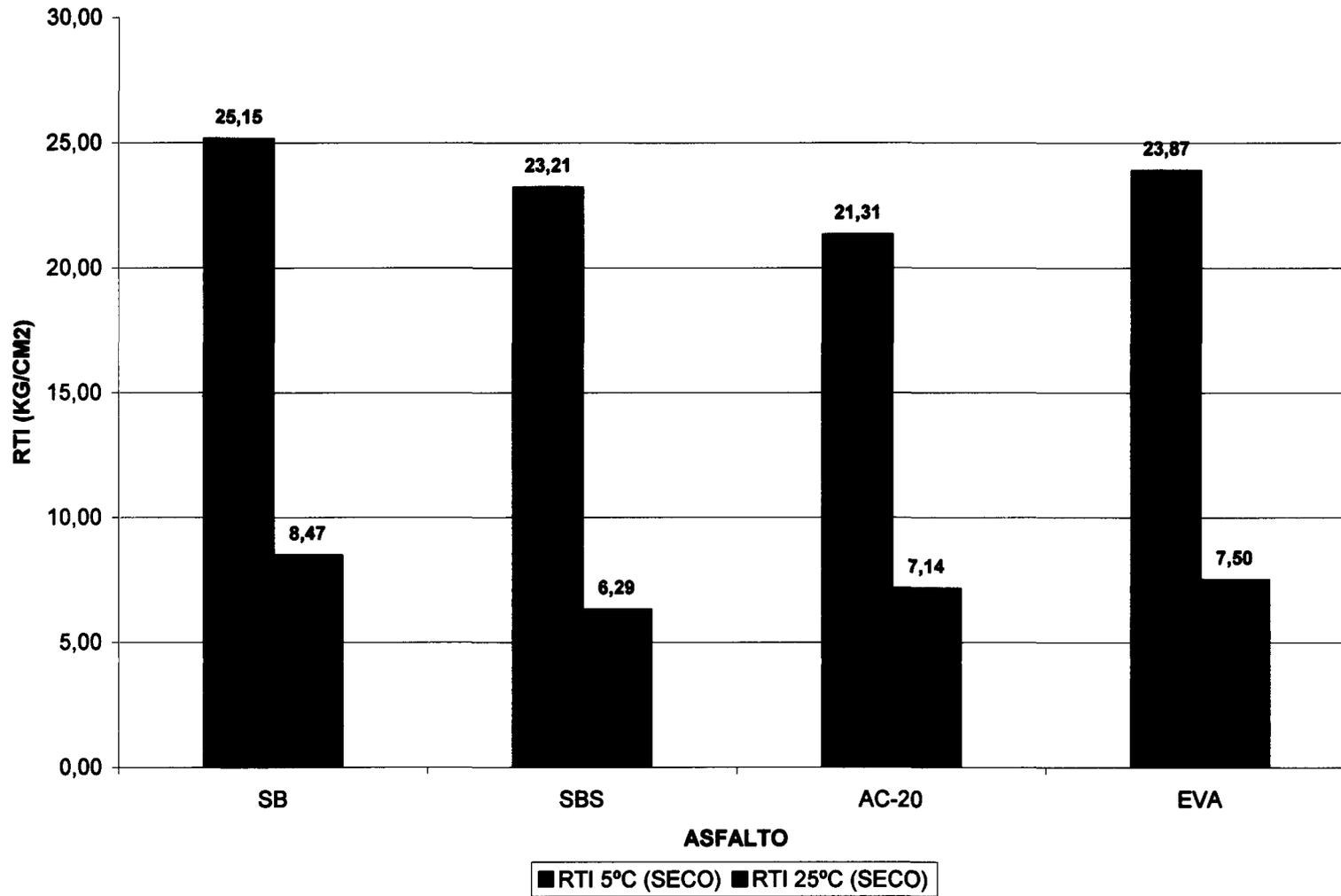
**ENSAYOS DE LABORATORIO  
PM 25°C (SECO Y HUMEDO)**



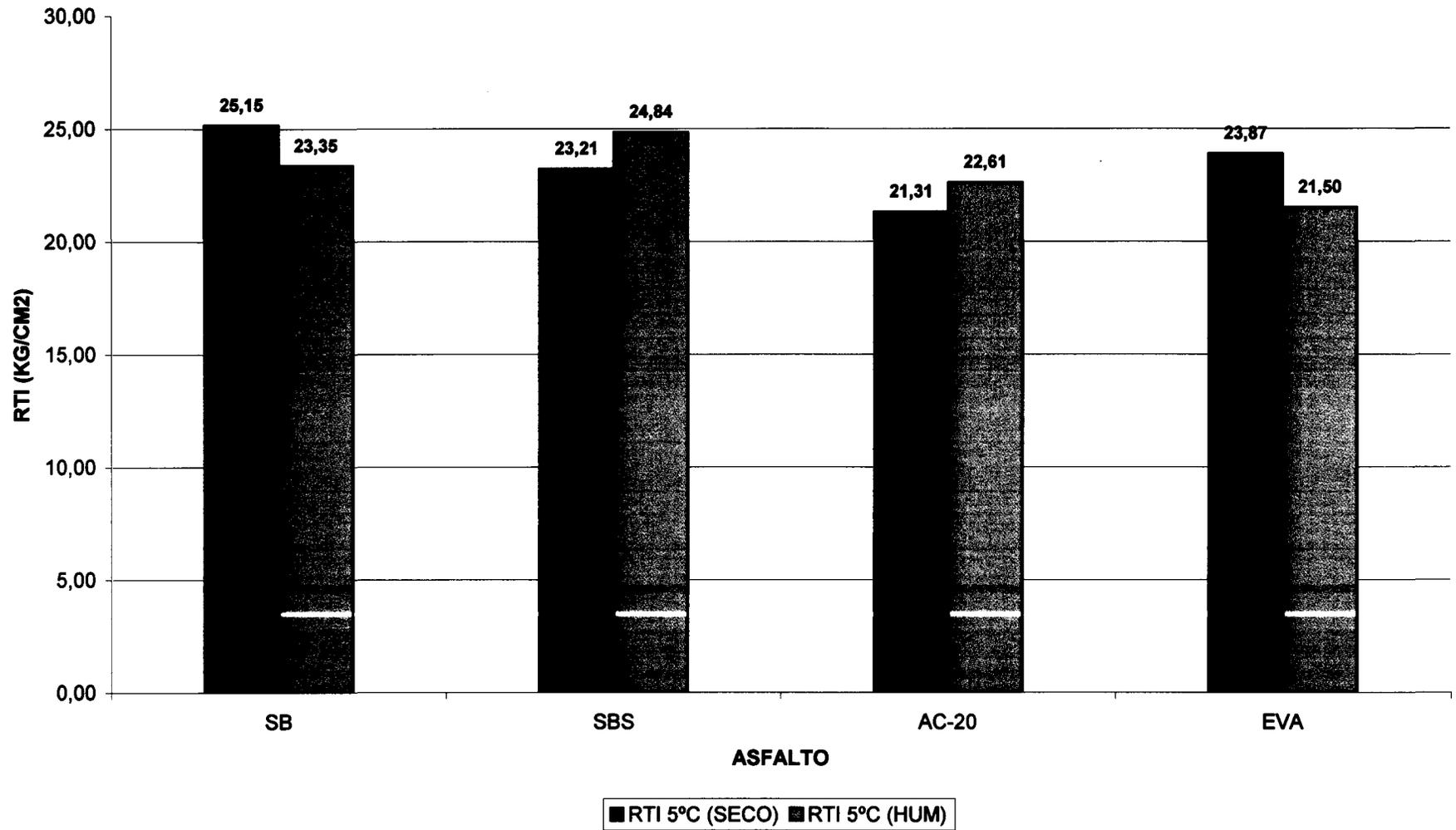
**ENSAYOS DE LABORATORIO  
RTI 5°C Y 25°C (HUMEDO)**



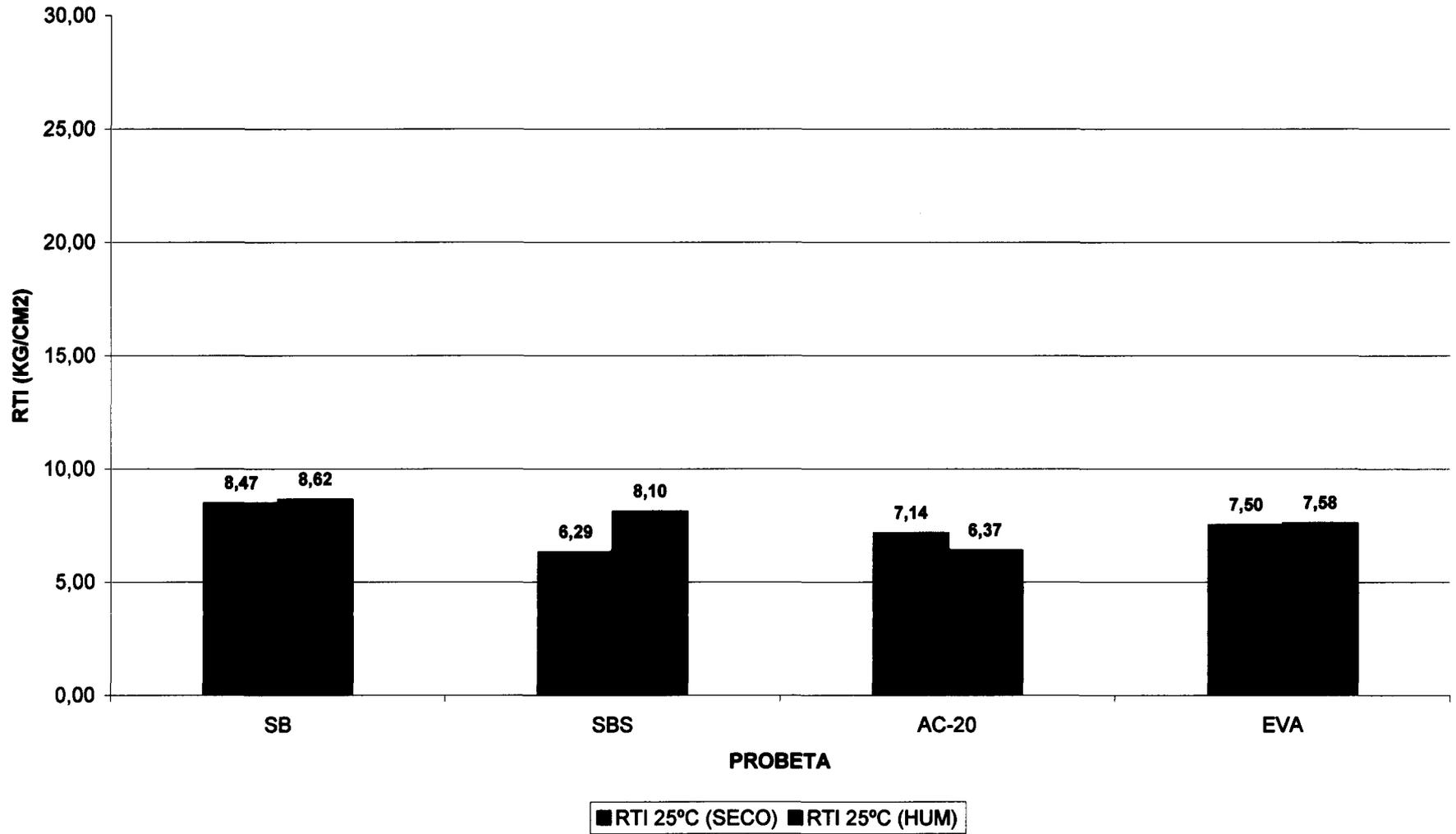
**ENSAYOS DE LABORATORIO  
RTI 5°C Y 25°C (SECO)**



**ENSAYOS DE LABORATORIO  
RTI 5°C (SECO Y HUMEDO)**

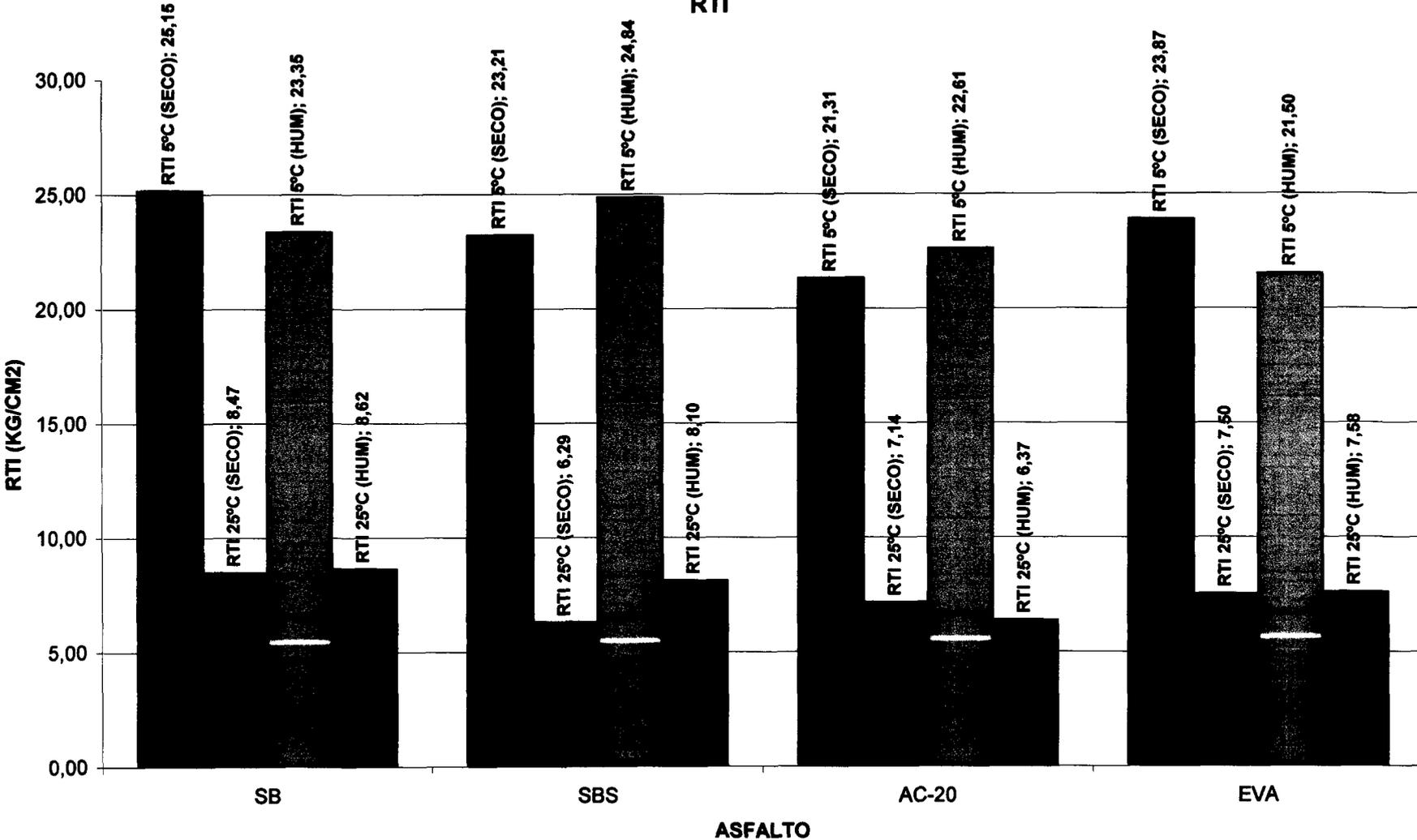


**ENSAYOS DE LABORATORIO  
RTI 25°C (SECO Y HUMEDO)**



**RESUMEN DE RESULTADOS  
ENSAYOS DE LABORATORIO**

**RTI**



**A-1-2      RESULTADOS DE CAMPO LABORATORIO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**RESUMEN RTI-PM-DPP-D SSS**

<b>FABRICACION</b>	<b>ENSAYO DE TENSION INDIRECTA</b>	
<b>LABORATORIO</b>	<b>RESULTADOS DE</b>	
<b>ASFALTO</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL</b>	
<b>AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP</b>	<b>OBRA: MTY-LAREDO</b>	<b>CONTROL</b>
	<b>MEZCLA TIPO:DENSA</b>	
	<b>FECHA: ABRIL/2004</b>	

MUESTREO	M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV			M-VI			M-VII			M-VIII		
----------	----------	--	--	-------	--	--	-------	--	--	------	--	--	------	--	--	-------	--	--	--------	--	--

**RESISTENCIA A TENSION INDIRECTA (RTI)**

<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$																		
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>5°C</b>	11,82	1,44	0,122	15,33	1,96	0,128	22,37	1,01	0,045	17,62	2,50	0,142	15,35	2,88	0,188	16,29	1,35	0,083	17,63	2,61	0,148
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>25°C</b>	4,92	0,91	0,184	6,80	0,91	0,133	8,15	0,36	0,044	8,11	1,55	0,191	6,53	0,79	0,122	6,62	0,62	0,071	8,26	0,70	0,085
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$																		
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>5°C</b>	11,99	2,56	0,213	15,38	1,40	0,091	19,37	1,10	0,057	16,29	1,55	0,095	12,74	1,25	0,098	13,54	0,71	0,052	16,62	3,02	0,182
<b>RTI (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>25°C</b>	3,20	0,78	0,243	7,25	0,43	0,059	8,80	0,47	0,054	7,99	0,85	0,107	6,64	0,86	0,130	6,07	0,79	0,130	6,17	0,52	0,064

MUESTREO	M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV			M-VI			M-VII			M-VIII		
----------	----------	--	--	-------	--	--	-------	--	--	------	--	--	------	--	--	-------	--	--	--------	--	--

**PSEUDO MODULO**

<b>SECO</b>		$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$
<b>PM (kg/cm)</b>	<b>5°C</b>	794,86	188,93	0,236	850,61	260,29	0,306	1093,88	200,40	0,183	745,14	363,98	0,488	644,13	174,95	0,272	639,83	124,97	0,195	737,06	138,05	0,187
<b>PM (kg/cm)</b>	<b>25°C</b>	423,42	109,51	0,259	408,58	82,87	0,202	611,99	101,35	0,166	538,23	192,20	0,357	316,70	76,25	0,241	501,64	105,86	0,211	364,32	48,22	0,132
<b>HUMEDO</b>		$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$	$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$
<b>PM (kg/cm)</b>	<b>5°C</b>	939,81	191,45	0,204	943,78	138,76	0,147	1057,59	201,43	0,190	692,20	66,64	0,096	663,75	86,30	0,130	567,64	136,61	0,241	631,46	128,64	0,204
<b>PM (kg/cm)</b>	<b>25°C</b>	283,69	90,08	0,318	551,15	79,79	0,145	571,57	153,62	0,269	461,57	84,22	0,182	444,40	103,27	0,232	341,05	103,44	0,303	426,47	130,27	0,305

MUESTREO	M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV			M-VI			M-VII			M-VIII		
----------	----------	--	--	-------	--	--	-------	--	--	------	--	--	------	--	--	-------	--	--	--------	--	--

**ENSAYO DE PISTA**

<b>DPP (mm)</b>	<b>60°C</b>	3,5			3,65			5,43			4,88			6,16			7,96			5,21		
<b>C.A</b>	<b>%</b>	4,4			4,8			5,43			4,88			4,48			4,44			5,21		

MUESTREO	M-I Y II			M-III			PM-IV			M-IV			M-VI			M-VII			M-VIII		
----------	----------	--	--	-------	--	--	-------	--	--	------	--	--	------	--	--	-------	--	--	--------	--	--

<b>DENSIDAD SSS</b>		$\mu$	$\sigma$	$\sigma_v$																		
<b>D SSS (gr/cm<sup>3</sup>)</b>		2,29	0,04	0,018	2,38	0,02	0,007	2,45	0,03	0,012	2,42	0,01	0,004	2,39	0,01	0,005	2,42	0,02	0,007	2,41	0,01	0,005
<b>%Vacios Mezcla</b>		7,24	1,67	0,230	3,34	0,66	0,197	-0,50	1,20	2,405	1,68	0,42	0,253	3,33	0,50	0,150	1,99	0,70	0,351	1,46	0,45	0,307

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
CAMPO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	MUESTRA: I Y II
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	MEZCLA TIPO:DENSA	
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4.90%	C.A =					4.90%	C.A =					4.90%	C.A =					4.90%		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Altura I (Cm)	60,89	63,84	60,20	59,64	58,94	60,74	63,40	59,66	60,62	61,84	60,24	61,38	60,00	61,00	60,80	58,70	60,00	61,38	62,70	62,12	64,39	62,94	67,66	67,00		
Altura II (Cm)	58,82	65,44	59,46	60,56	59,80	58,66	62,76	60,94	61,66	62,00	60,54	59,82	59,62	60,30	54,80	58,26	62,00	63,00	62,34	63,66	64,21	66,00	67,00	68,74		
Altura III (Cm)	60,26	61,00	59,42	59,52	60,70	61,14	62,50	58,62	60,80	59,00	58,44	60,56	60,00	59,42	65,00	60,00	63,32	62,48	62,70	65,70	65,00	69,70	67,80	67,36		
h prom	59,99	63,43	59,69	59,91	59,81	60,18	62,89	59,74	61,03	60,95	59,74	60,59	59,87	60,24	60,20	58,99	61,77	62,29	62,58	63,83	64,53	66,21	67,49	67,70		
Peso (gr)	1106,30	1103,50	1107,30	1103,50	1096,40	1100,30	1096,10	1100,10	1101,50	1096,90	1094,80	1106,10	1106,50	1104,30	1110,10	1095,60	1110,90	1107,10	1101,00	1102,30	1104,10	1096,50	1106,60	1099,00		
D SSS (gr/cm3)	2,31	2,23	2,34	2,33	2,32	2,31	2,24	2,33	2,30	2,30	2,33	2,30	2,33	2,34	2,30	2,36	2,32	2,29	2,28	2,22	2,26	2,25	2,23	2,23		
D.Aparente (gr/cm3)	2,27	2,15	2,29	2,27	2,26	2,26	2,15	2,27	2,23	2,22	2,26	2,25	2,28	2,26	2,27	2,29	2,22	2,19	2,17	2,13	2,11	2,04	2,02	2,00		
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16		
Carga(Kg)	1125,00	1175,00	900,00	1300,00	1100,00	1250,00	330,00	450,00	480,00	580,00	500,00	520,00	1250,00	900,00	1300,00	1150,00	1500,00	850,00	445,00	280,00	380,00	350,00	280,00	260,00		
P <sub>x</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	11,75	11,61	9,45	13,60	11,52	13,02	3,29	4,72	4,93	5,96	5,24	5,38	13,08	9,36	13,53	12,22	15,22	8,55	4,46	2,75	3,69	3,31	2,60	2,41		
μ	11,82					4,92					11,99					3,20										
σ	1,44					0,91					2,56					0,78										
cv	0,12					0,18					0,21					0,24										
Temp 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	60°C													
Tiempo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	24 hrs													
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C		
Tiempo	24 hrs																									
<b>PSEUDO MODULO</b>																										
Carga/2 (Kg)	562,50	587,50	450,00	650,00	550,00	625,00	165,00	225,00	240,00	290,00	250,00	260,00	625,00	450,00	650,00	575,00	750,00	425,00	222,50	140,00	190,00	175,00	140,00	130,00		
Delta (Cm)	0,76	0,56	0,76	1,12	0,61	0,69	0,64	0,38	0,64	0,69	0,58	0,56	0,56	0,56	0,66	0,64	0,64	0,64	0,74	0,64	0,43	0,58	0,76	0,51		
P <sub>II</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	740,13	1049,11	592,11	580,36	901,64	905,80	257,81	592,11	375,00	420,29	431,03	464,29	1116,07	803,57	984,85	898,44	1171,88	664,06	300,68	218,75	441,86	301,72	184,21	254,90		
μ	794,86					423,42					939,81					283,69										
σ	188,93					109,51					191,45					90,08										
cv	0,24					0,26					0,20					0,32										

Observaciones:

Laboratorio: José Carduño P. Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	
CAMPO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO      MUESTRA: I Y II
MEZCLA TIPO:DENSA	
FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP

Probeta	C.A =					4,40%	C.A =					4,40%	C.A =					4,40%	C.A =					4,40%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	1106,30	1103,50	1107,30	1103,50	1096,40	1100,30	1096,10	1100,10	1101,50	1096,90	1094,80	1106,10	1106,50	1104,30	1110,10	1095,60	1110,90	1107,10	1101,00	1102,30	1104,10	1096,50	1106,60	1099,00
B	1112,80	1115,70	1115,30	1112,20	1104,60	1110,20	1110,50	1106,80	1110,40	1107,60	1102,00	1112,50	1117,20	1114,30	1123,10	1105,20	1123,30	1123,00	1113,70	1126,00	1123,00	1112,40	1126,80	1122,90
C	634,10	619,90	642,30	638,40	631,90	633,90	620,10	633,70	631,00	629,80	631,20	630,90	641,80	642,30	639,60	641,60	644,20	640,00	631,80	630,40	635,40	625,00	630,40	630,60
D SSS (gr/cm3)	2,31	2,23	2,34	2,33	2,32	2,31	2,24	2,33	2,30	2,30	2,33	2,30	2,33	2,34	2,30	2,36	2,32	2,29	2,28	2,22	2,26	2,25	2,23	2,23
% absorcion	0,59%	1,11%	0,72%	0,79%	0,75%	0,90%	1,31%	0,61%	0,81%	0,98%	0,66%	0,58%	0,97%	0,91%	1,17%	0,88%	1,12%	1,44%	1,15%	2,15%	1,71%	1,45%	1,83%	2,17%
μ	2,31					2,30					2,32					2,25								
σ	0,041					0,033					0,027					0,024								
cv	0,018					0,014					0,012					0,010								

μ	2,29																							
σ	0,04																							
cv	0,018																							

Temp 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60°C											
Tiempo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24 hrs											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs																							

**% VACIOS EN MEZCLA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
W	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21	4,21
Agregado (t)	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79	95,79
Agregado	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35	36,35
Asfalto	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
(g)= v + q	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45	40,45
(g)= 100%	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
100	93,48	90,03	94,70	94,21	93,82	93,45	90,41	94,06	92,94	92,86	94,06	92,90	94,15	94,64	92,87	95,60	93,79	92,72	92,42	89,97	91,60	91,00	90,18	90,30
%VM = 100 - Vol.	6,52	9,97	5,30	5,79	6,18	6,55	9,59	5,94	7,06	7,14	5,94	7,10	5,85	5,36	7,13	4,40	6,21	7,28	7,58	10,03	8,40	9,00	9,82	9,70

μ	7,24																							
σ	1,87																							
cv	0,230																							

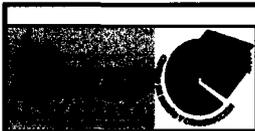
Observaciones:

P.E. Asfalto      1,028 gr/cm3

P.E. Agregado    2,635 gr/cm3

Peso petreo      1000 gr

Laboratorista: José Garduño P.      Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DIAMETRAL
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: III
	MEZCLA TIPO:DENSA	
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	52,00	53,54	52,90	53,34	52,80	53,84	54,00	52,86	53,34	54,00	53,26	53,22	53,20	53,94	53,22	54,36	52,72	54,16	53,80	53,08	53,60	54,62	55,30	53,80
Altura II (Cm)	52,46	53,24	52,76	53,70	53,00	53,84	52,76	52,56	53,00	53,24	53,00	53,84	53,32	54,00	52,56	53,64	53,82	53,74	53,88	53,30	53,16	54,70	55,02	54,14
Altura III (Cm)	52,46	53,66	52,74	53,42	53,36	53,74	52,86	52,76	53,66	53,62	53,00	53,36	53,52	54,00	53,22	53,74	53,92	53,80	54,00	53,36	53,64	55,00	55,04	53,54
h prom	52,31	53,48	52,80	53,49	53,05	53,81	53,21	52,73	53,33	53,62	53,09	53,47	53,35	53,98	53,00	53,91	53,49	53,90	53,89	53,25	53,47	54,77	55,12	53,83
Peso (gr)	1000,10	1001,90	998,90	999,80	997,40	1001,30	997,80	999,50	1004,00	998,80	999,10	999,30	999,90	1000,90	1001,30	997,20	996,50	1000,20	994,00	997,90	1000,50	995,20	990,60	996,60
D SSS (gr/cm3)	2,41	2,39	2,40	2,37	2,38	2,36	2,38	2,39	2,39	2,36	2,38	2,38	2,37	2,37	2,39	2,36	2,37	2,39	2,34	2,39	2,37	2,36	2,35	2,39
D.Aparente (gr/cm3)	2,36	2,31	2,33	2,31	2,32	2,30	2,31	2,34	2,32	2,30	2,32	2,31	2,31	2,29	2,33	2,28	2,30	2,29	2,27	2,31	2,31	2,24	2,22	2,28
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	1450,00	1150,00	1200,00	1325,00	1300,00	1400,00	620,00	640,00	580,00	645,00	645,00	565,00	1350,00	1300,00	1550,00	1400,00	1140,00	1125,00	610,00	680,00	590,00	505,00	500,00	630,00
Pz (Kg/cm2)	17,37	13,47	14,24	15,52	15,35	16,30	7,30	7,61	6,81	7,54	7,61	6,62	15,86	15,09	18,32	16,27	13,36	13,08	7,09	8,00	6,91	5,78	5,68	7,33
$\mu$	15,38					7,25					15,33					6,80								
$\sigma$	1,40					0,43					1,96					0,91								
cv	0,09					0,06					0,13					0,13								

Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs																							

**PSEUDO MODULO**

Carga/2 (Kg)	725,00	575,00	600,00	662,50	650,00	700,00	310,00	320,00	290,00	322,50	322,50	282,50	675,00	650,00	775,00	700,00	570,00	562,50	305,00	340,00	295,00	252,50	250,00	315,00
Delta (Cm)	0,64	0,61	0,76	0,61	0,74	0,84	0,53	0,61	0,53	0,51	0,53	0,69	0,99	0,53	0,74	0,91	1,14	0,64	0,69	0,89	0,76	0,46	0,84	0,79
PM (Kg/cm)	1132,81	942,62	789,47	1086,07	878,38	833,33	584,91	524,59	547,17	632,35	608,49	409,42	681,82	1226,42	1047,30	769,23	500,00	878,91	442,03	382,02	388,16	548,91	297,62	398,73
$\mu$	943,78					551,15					850,61					409,58								
$\sigma$	138,76					79,79					260,29					82,87								
cv	0,15					0,14					0,31					0,20								

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
Laboratorista: José Garduño P.

\_\_\_\_\_  
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	
LABORATORIO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO      MUESTRA: III
MEZCLA TIPO:DENSA	
FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AF

Prueba	C.A =						4,80%	C.A =						4,80%	C.A =						4,80%			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	1000,10	1001,90	998,90	999,80	997,40	1001,30	997,80	999,50	1004,00	998,80	999,10	999,30	999,90	1000,90	1001,30	997,20	996,50	1000,20	994,00	997,90	1001,50	995,20	990,60	996,60
B	1006,40	1011,30	1005,60	1007,80	1005,40	1009,80	1005,20	1007,10	1011,70	1009,60	1008,20	1007,60	1006,60	1011,80	1009,10	1009,70	1007,40	1011,10	1008,70	1007,40	1008,10	1008,90	1005,40	1005,70
C	590,80	591,30	589,70	585,90	586,10	586,40	585,50	589,30	591,50	585,80	589,00	587,20	585,30	589,00	590,90	586,90	587,60	592,88	583,50	589,10	586,50	587,30	584,60	588,20
D SBS (gr/cm3)	2,41	2,39	2,40	2,37	2,38	2,36	2,38	2,39	2,39	2,36	2,38	2,38	2,37	2,37	2,39	2,36	2,37	2,39	2,34	2,39	2,37	2,36	2,35	2,39
% absorcion	0,63%	0,94%	0,67%	0,80%	0,80%	0,85%	0,74%	0,76%	0,77%	1,08%	0,91%	0,83%	0,67%	1,09%	0,78%	1,25%	1,09%	1,09%	1,48%	0,95%	0,76%	1,37%	1,49%	0,91%
μ	2,38						2,38						2,38						2,37					
σ	0,017						0,013						0,014						0,019					
cv	0,007						0,005						0,006						0,008					
μ	2,38																							
σ	0,02																							
cv	0,007																							

Temp 1	60°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
Tiempo	24 hrs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs																							

**% VACIOS EN MEZCLA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
n	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58
Agregado (r)	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42	95,42
Agregado	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21	36,21
Asfalto	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46	4,46
(s)= v + q	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67	40,67
(g)= 100/s	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
100	97,86	97,01	97,68	96,37	96,74	96,18	96,68	97,29	97,17	95,84	96,93	96,67	96,52	96,27	97,37	95,92	96,54	97,26	95,07	97,02	96,51	96,02	95,74	97,08
%VM = 100 - Vol.	2,14	2,99	2,32	3,63	3,26	3,82	3,32	2,71	2,83	4,16	3,07	3,33	3,48	3,73	2,63	4,08	3,46	2,74	4,93	2,98	3,49	3,98	4,26	2,92
μ	3,34																							
σ	0,66																							
cv	0,197																							

**Observaciones:**  
 P.E. Asfalto      1,028    gr/cm3  
 P.E. Agregado    2,635    gr/cm3  
 Peso petreo      1000    gr

Laboratorista: José Garduño P.  
 Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

<b>FABRICACION</b>	<b>ENSAYO DE TENSION INDIRECTA</b>	
<b>LABORATORIO</b>	<b>RESULTADOS DE</b>	
<b>ASFALTO</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL</b>	<b>MUESTRA: IV</b>
<b>AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP</b>	<b>MEZCLA TIPO:DENSA</b>	
	<b>FECHA: ABRIL/2004</b>	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Altura I (Cm)	52,70	52,16	52,36	52,52	52,86	52,56	51,82	52,26	52,58	52,26	52,28	52,30	51,80	53,90	52,52	51,38	52,42	52,80	52,50	52,18				
Altura II (Cm)	52,48	52,08	52,12	52,62	53,16	52,44	51,78	52,54	52,94	52,16	52,48	52,58	51,82	52,84	52,68	51,42	52,44	52,00	52,72	52,30				
Altura III (Cm)	53,00	52,10	52,10	52,86	52,96	52,38	52,00	52,10	52,38	52,34	52,14	52,32	52,02	53,70	52,50	51,80	52,28	52,06	52,48	51,94				
h prom	52,73	52,11	52,19	52,67	52,99	52,46	51,87	52,30	52,63	52,25	52,30	52,40	51,88	53,48	52,57	51,53	52,38	52,29	52,57	52,14				
Peso (gr)	999,40	998,50	998,20	999,50	999,30	1001,60	995,70	998,30	1002,20	999,60	999,90	1001,70	999,80	1000,40	998,50	998,20	1000,30	998,10	998,40	998,50				
D SSS (gr/cm3)	2,41	2,42	2,42	2,40	2,41	2,41	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,38	2,41	2,43	2,41	2,42	2,42	2,42				
D.Aparente (gr/cm3)	2,34	2,36	2,36	2,34	2,33	2,35	2,37	2,35	2,35	2,36	2,36	2,36	2,38	2,31	2,34	2,39	2,36	2,35	2,34	2,36				
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16				
Carga(Kg)	1140,00	1430,00	1400,00	1410,00	1450,00	740,00	580,00	640,00	630,00	745,00	1750,00	1350,00	1550,00	1230,00	1500,00	760,00	780,00	745,00	610,00	480,00				
P% (Kg/cm2)	13,55	17,19	16,81	16,78	17,14	8,84	7,01	7,87	7,50	8,93	20,97	16,14	18,72	14,41	17,88	9,24	9,33	8,93	7,27	5,77				
$\mu$	16,29					7,99					17,82					8,11								
$\sigma$	1,55					0,85					2,50					1,55								
CV	0,09					0,11					0,14					0,19								
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---									
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C				
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs									
<b>PSEUDO MODULO</b>																								
Carga/2 (Kg)	570,00	715,00	700,00	705,00	725,00	370,00	290,00	320,00	315,00	372,50	875,00	675,00	775,00	615,00	750,00	380,00	390,00	372,50	305,00	240,00				
Delta (Cm)	0,89	0,89	1,09	1,04	1,04	0,64	0,84	0,71	0,71	0,76	0,64	1,04	1,22	1,52	1,12	0,53	0,58	0,58	0,91	0,74				
P% (Kg/cm)	640,45	803,37	642,20	677,88	697,12	578,13	345,24	450,70	443,66	490,13	1367,19	649,04	635,25	404,61	669,64	716,98	672,41	642,24	335,16	324,32				
$\mu$	692,20					461,57					745,14					538,23								
$\sigma$	66,64					84,22					363,98					192,20								
CV	0,10					0,18					0,49					0,36								

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	
LABORATORIO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO MUESTRA: IV
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	MEZCLA TIPO:DENSA
	FECHA: ABRIL/2004

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

Probeta	C.A =					4,88%	C.A =					4,88%	C.A =					4,88%		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	999,40	998,50	998,20	999,50	999,30	1001,60	995,70	998,30	1002,20	999,60	999,90	1001,70	999,80	1000,40	998,50	998,20	1000,30	998,10	998,40	998,50
B	1004,70	1002,70	1002,20	1003,70	1003,30	1005,30	997,90	1001,10	1004,50	1002,40	1003,30	1003,80	1001,60	1007,60	1002,50	999,80	1003,30	1001,00	1002,10	1000,40
C	589,80	590,40	589,50	587,60	588,30	590,50	585,90	589,00	590,30	589,20	589,50	589,50	589,30	587,60	588,50	589,50	588,10	589,20	589,00	587,10
D SSS (gr/cm3)	2,41	2,42	2,42	2,40	2,41	2,41	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,38	2,41	2,43	2,41	2,42	2,42	2,42
% absorcion	0,53%	0,42%	0,40%	0,42%	0,40%	0,37%	0,22%	0,28%	0,23%	0,28%	0,34%	0,21%	0,18%	0,72%	0,40%	0,16%	0,30%	0,29%	0,37%	0,19%
$\mu$	2,41					2,42					2,41					2,42				
$\sigma$	0,008					0,003					0,017					0,009				
cv	0,003					0,001					0,007					0,004				
$\mu$	2,42																			
$\sigma$	0,01																			
cv	0,004																			
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---					
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs					
<b>% VACIOS EN MEZCLA</b>																				
n	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Agregado (1)	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35	95,35
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18
Asfalto	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53	4,53
(e) = v + q	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71	40,71
(g) = 100/s	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
100	98,06	98,59	98,47	97,79	98,03	98,30	98,39	98,62	98,50	98,49	98,37	98,43	98,72	96,97	98,19	99,04	98,08	98,67	98,39	98,35
%VM = 100 - Vol.	1,94	1,41	1,53	2,21	1,97	1,70	1,61	1,38	1,50	1,51	1,63	1,57	1,28	3,03	1,81	0,96	1,92	1,33	1,61	1,65
$\mu$	1,68																			
$\sigma$	0,42																			
cv	0,253																			

**Observaciones:**

P.E. Asfalto 1,028 gr/cm3  
 P.E. Agregado 2,635 gr/cm3  
 Peso patreo 1000 gr

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

	<b>INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY</b> <b>CAMPUS MONTERREY</b> <b>DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b> <b>CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> <b>LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS</b> <b>INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO</b>												FABRICACION		ENSAYO DE TENSION INDIRECTA									
													PLANTA ASFALTO		RESULTADOS DE									
													ASFALTO		RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL			OBRA: MTY-LAREDO			MUESTRA: IV			
													AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP		MEZCLA TIPO:DENSA						FECHA: ABRIL/2004			
Probeta	C.A =					C.A =					C.A =					C.A =								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	49,54	48,00	49,84	49,16	49,46	49,54	52,00	50,00	49,42	48,00	50,00	52,50	51,46	52,76	52,16	52,90	50,00	51,84	50,00	50,76	50,00	49,90	50,44	48,00
Altura II (Cm)	50,76	50,00	49,30	49,28	49,00	50,00	49,00	51,08	50,52	50,36	49,00	51,80	51,82	50,84	50,76	52,80	50,70	51,88	52,48	48,00	51,00	50,00	49,00	49,50
Altura III (Cm)	49,64	50,40	49,70	51,00	50,24	49,78	50,86	50,60	50,46	50,00	51,24	51,52	53,12	52,14	51,52	52,12	51,06	51,60	51,00	48,22	49,46	48,76	51,00	51,00
h prom	49,98	49,47	49,61	49,81	49,57	49,77	50,62	50,56	50,13	49,45	50,08	51,94	52,13	51,91	51,48	52,61	50,59	51,77	51,16	48,99	50,15	49,55	50,15	49,50
Peso (gr)	973,40	962,00	970,30	969,00	964,40	969,20	979,50	981,20	986,20	975,00	979,50	1011,70	1036,10	1022,80	1012,50	1031,10	1001,10	994,60	1003,40	973,70	961,60	963,80	985,20	976,60
D SSS (gr/cm3)	2,42	2,43	2,45	2,44	2,44	2,43	2,43	2,45	2,44	2,46	2,41	2,44	2,45	2,46	2,46	2,44	2,45	2,45	2,45	2,45	2,46	2,45	2,46	2,48
D.Aparente (gr/cm3)	2,40	2,40	2,41	2,40	2,40	2,40	2,39	2,39	2,43	2,43	2,41	2,40	2,45	2,43	2,43	2,42	2,44	2,37	2,42	2,45	2,41	2,40	2,42	2,43
Diametro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	1530,00	1550,00	1650,00	1600,00	1400,00	1490,00	740,00	680,00	640,00	715,00	700,00	680,00	660,00	720,00	670,00	660,00	630,00	700,00	1825,00	1750,00	1800,00	1850,00	1850,00	1620,00
Pz (Kg/cm2)	19,18	19,63	20,84	20,13	17,70	18,76	9,16	8,43	8,00	9,06	8,76	8,20	7,93	8,69	8,15	7,86	7,80	8,47	22,35	22,38	22,49	23,39	23,12	20,51
$\mu$	19,37					8,60					8,15					22,37								
$\sigma$	1,10					0,47					0,36					1,01								
cv	0,06					0,05					0,04					0,05								
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs
<b>PSEUDO MODULO</b>																								
Carga/2 (Kg)	765,00	775,00	825,00	800,00	700,00	745,00	370,00	340,00	320,00	357,50	350,00	340,00	330,00	360,00	335,00	330,00	315,00	350,00	912,50	875,00	900,00	925,00	925,00	810,00
Delta (Cm)	0,74	0,71	0,79	1,02	0,71	0,53	0,51	0,51	0,99	0,76	0,51	0,61	0,51	0,51	0,51	0,53	0,76	0,56	0,91	0,64	0,89	0,79	0,76	1,02
PM (Kg/cm)	1033,78	1091,55	1044,30	784,31	985,92	1405,66	725,49	666,67	323,23	470,39	686,27	557,38	647,06	705,88	656,86	622,64	414,47	625,00	1002,75	1367,19	1011,24	1170,89	1217,11	794,12
$\mu$	1057,59					571,57					611,99					1093,88								
$\sigma$	201,43					153,62					101,35					200,40								
cv	0,19					0,27					0,17					0,18								
Observaciones:																								
															Laboratorista: José Garduño P.					Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca				



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION		
PLANTA ASFALTO		
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: IV
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	MEZCLA TIPO:DENSA	
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

Probeta	C.A =					5,43%	C.A =					5,43%	C.A =					5,43%	C.A =					5,43%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	973,40	962,00	970,30	969,00	964,40	969,20	979,50	981,20	986,20	975,00	979,50	1011,70	1036,10	1022,80	1012,50	1031,10	1001,10	994,60	1003,40	973,70	981,60	963,80	985,20	976,60
B	974,90	964,30	971,40	970,40	967,40	970,80	982,40	983,20	988,30	978,00	986,50	1013,60	1037,90	1024,20	1013,80	1032,30	1002,30	996,50	1005,40	975,00	982,90	967,00	987,50	978,10
C	573,00	569,20	574,80	572,60	572,80	572,70	578,80	582,10	584,60	579,00	580,30	599,00	615,30	607,60	602,00	610,10	594,20	590,60	595,60	578,90	582,30	592,30	587,40	583,60
D SSS (gr/cm3)	2,42	2,43	2,45	2,44	2,44	2,43	2,43	2,45	2,44	2,46	2,41	2,44	2,45	2,46	2,46	2,44	2,45	2,45	2,45	2,46	2,45	2,57	2,46	2,48
% absorcion	0,15%	0,24%	0,11%	0,14%	0,31%	0,17%	0,30%	0,20%	0,21%	0,10%	0,71%	0,19%	0,17%	0,14%	0,13%	0,12%	0,12%	0,19%	0,20%	0,13%	0,13%	0,33%	0,23%	0,15%
$\mu$	2,44					2,44					2,45					2,48								
$\sigma$	0,009					0,016					0,006					0,047								
cv	0,004					0,006					0,002					0,019								

$\mu$	2,45																							
$\sigma$	0,03																							
cv	0,012																							

Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C											
Tiempo	24 hrs																							

**% VACIOS EN MEZCLA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\mu$	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15
Agregado (1)	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85	94,85
Agregado	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
Asfalto	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01
(q)= v + q	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01	41,01
(s)= 100%	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
100	99,32	99,84	100,32	99,89	100,22	99,83	99,52	100,31	100,17	100,71	98,88	100,06	100,54	100,67	100,82	100,15	100,59	100,48	100,40	100,80	100,48	105,48	100,97	101,51
%VM= 100 - Vol.	0,68	0,16	-0,32	0,11	-0,22	0,17	0,48	-0,31	-0,17	-0,71	1,12	-0,06	-0,54	-0,67	-0,82	-0,15	-0,59	-0,48	-0,40	-0,80	-0,48	-5,48	-0,97	-1,51
$\mu$	-0,50																							
$\sigma$	1,20																							
cv	2,405																							

<b>Observaciones:</b> P.E. Asfalto      1,028 gr/cm3 P.E. Agregado    2,635 gr/cm3 Peso petreo      1000 gr		
	Laboratorista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DIAMETRAL
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: VI
	MEZCLA TIPO:DENSA	
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%	C.A =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	53,30	53,32	52,98	53,16	52,60	53,18	52,78	52,76	53,64	52,52	52,46	52,44	52,84	53,32	52,80	52,46	53,22	52,70	53,44	53,56	53,24	52,64	53,50	53,30
Altura II (Cm)	53,34	53,56	52,54	53,50	52,86	53,66	53,00	53,02	53,66	52,90	52,86	52,38	52,48	53,54	52,92	52,84	53,36	53,40	53,04	53,32	53,00	52,92	54,50	53,02
Altura III (Cm)	53,54	52,94	52,50	53,18	52,78	53,54	52,84	53,14	53,46	52,66	53,38	52,76	52,46	53,08	53,02	52,36	53,80	52,98	53,26	53,40	53,32	53,04	54,52	52,96
h prom	53,39	53,27	52,67	53,28	52,75	53,46	52,87	52,97	53,59	52,69	52,90	52,53	52,59	53,31	52,91	52,55	53,46	53,03	53,25	53,43	53,19	52,87	54,17	53,06
Peso (gr)	998,80	998,90	999,70	997,80	998,10	999,00	1000,00	998,10	1000,30	1000,10	999,70	998,60	999,50	999,20	999,50	998,80	999,30	999,80	999,30	1000,10	999,70	999,60	999,40	1000,20
D SSS (gr/cm3)	2,36	2,37	2,40	2,38	2,40	2,37	2,39	2,38	2,37	2,40	2,40	2,40	2,40	2,39	2,40	2,39	2,38	2,40	2,38	2,39	2,38	2,39	2,37	2,40
D.Aparente (gr/cm3)	2,31	2,31	2,34	2,31	2,33	2,30	2,33	2,32	2,30	2,34	2,33	2,34	2,34	2,31	2,33	2,34	2,31	2,33	2,31	2,31	2,32	2,33	2,28	2,33
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	950,00	1130,00	1250,00	1050,00	1050,00	1050,00	600,00	520,00	440,00	575,00	600,00	630,00	1350,00	1000,00	1600,00	1490,00	1050,00	1290,00	590,00	530,00	540,00	650,00	460,00	560,00
P <sub>2</sub> (Kg/cm2)	11,15	13,29	14,87	12,35	12,47	12,31	7,11	6,15	5,14	6,84	7,11	7,52	16,08	11,75	18,95	17,77	12,31	15,24	6,94	6,22	6,36	7,70	5,32	6,61
μ	12,74					6,64					15,35					6,53								
σ	1,25					0,86					2,88					0,79								
CV	0,10					0,13					0,19					0,12								

Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C						
Tiempo	24 hrs																								

PSEUDO MODULO																								
Carga2 (Kg)	475,00	565,00	625,00	525,00	525,00	525,00	300,00	260,00	220,00	287,50	300,00	315,00	675,00	500,00	800,00	745,00	525,00	645,00	295,00	265,00	270,00	325,00	230,00	280,00
Delta (Cm)	0,76	0,76	0,84	1,02	0,76	0,79	0,58	0,76	0,74	0,51	0,64	0,66	1,02	0,89	0,81	1,30	1,02	1,14	0,74	1,02	0,99	0,76	0,91	0,97
P <sub>11</sub> (Kg/cm)	625,00	743,42	744,05	514,71	690,79	664,56	517,24	342,11	297,30	563,73	468,75	477,27	661,76	561,80	987,65	573,08	514,71	565,79	398,65	259,80	272,73	427,63	252,75	288,66
μ	663,75					444,40					644,13					316,70								
σ	86,30					103,27					174,95					76,25								
CV	0,13					0,23					0,27					0,24								

Observaciones:

Laboralista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION		
LABORATORIO		
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: VI
	MEZCLA TIPO:DENSA	
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

Probeta	C.A =					4,48%	C.A =					4,48%	C.A =					4,48%	C.A =					4,48%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	998,80	998,90	999,70	997,80	998,10	999,00	1000,00	998,10	1000,30	1000,10	999,70	998,60	999,50	999,20	999,50	998,80	999,30	999,80	999,30	1000,10	999,70	999,60	999,40	1000,20
B	1007,40	1005,30	1005,30	1007,00	1003,70	1007,00	1007,00	1005,20	1007,50	1004,00	1005,40	1002,60	1003,40	1007,40	1005,20	1003,20	1008,10	1006,60	1005,60	1007,50	1005,50	1006,60	1009,50	1005,40
C	583,70	584,50	588,70	587,80	587,00	586,00	588,50	586,70	585,90	587,50	588,30	585,90	587,60	588,70	588,80	586,10	588,40	590,50	585,20	589,00	585,90	588,10	587,50	588,00
D SBS (gr/cm3)	2,36	2,37	2,40	2,38	2,40	2,37	2,39	2,38	2,37	2,40	2,40	2,40	2,40	2,39	2,40	2,39	2,38	2,40	2,38	2,39	2,38	2,39	2,37	2,40
% absorcion	0,86%	0,64%	0,56%	0,92%	0,56%	0,80%	0,70%	0,71%	0,72%	0,39%	0,57%	0,40%	0,39%	0,82%	0,57%	0,44%	0,88%	0,68%	0,63%	0,74%	0,58%	0,70%	1,01%	0,52%
$\mu$	2,38					2,39					2,39					2,38								
$\sigma$	0,016					0,010					0,009					0,010								
cv	0,007					0,004					0,004					0,004								
$\mu$	2,39																							
$\sigma$	0,01																							
cv	0,005																							

Temp 1	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Tiempo	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs																							

**% VACIOS EN MEZCLA**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\mu$	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29	4,29
Agregado (v)	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71	95,71
Agregado	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32	36,32
Asfalto	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
(g) v + q	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49	40,49
(g) = 100%	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
100	95,46	96,13	97,17	96,39	96,99	96,09	96,76	96,58	96,08	97,24	97,06	97,04	97,34	96,64	97,20	96,97	96,42	97,30	96,26	96,77	96,48	96,72	95,90	97,04
%VM = 100 - Vol.	4,54	3,87	2,83	3,61	3,01	3,91	3,24	3,42	3,92	2,76	2,94	2,96	2,66	3,36	2,80	3,03	3,58	2,70	3,74	3,23	3,52	3,28	4,10	2,96
$\mu$	3,33																							
$\sigma$	0,50																							
cv	0,150																							

**Observaciones:**  
 P.E. Asfalto 1,028 gr/cm3  
 P.E. Agregado 2,635 gr/cm3  
 Peso petreo 1000 gr

Laborarista: José Garduño P.  
 Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	MEZCLA TIPO:DENSA
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: VII
FECHA: ABRIL/2004		

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	C.A =					C.A =					C.A =					C.A =								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	52,38	52,66	52,06	52,26	52,00	52,74	52,16	52,56	53,30	52,72	52,48	53,00	51,10	51,64	51,06	51,78	51,70	51,44	52,18	51,34	51,18	51,36	52,36	51,36
Altura II (Cm)	52,50	52,32	52,06	52,36	52,20	52,78	52,28	52,44	53,26	52,78	52,50	52,68	51,30	51,58	52,22	51,60	51,84	52,16	51,90	51,28	51,40	51,18	52,28	51,74
Altura III (Cm)	52,48	52,34	52,12	52,50	52,28	52,66	52,26	52,56	53,34	52,66	52,40	52,86	51,08	51,80	51,76	52,20	52,50	51,68	52,00	51,32	51,46	51,12	52,10	51,72
h prom	52,45	52,44	52,09	52,37	52,16	52,73	52,23	52,52	53,31	52,72	52,46	52,85	51,16	51,87	51,90	51,86	52,01	51,76	52,03	51,31	51,35	51,22	52,24	51,61
Peso (gr)	999,80	999,50	1000,40	998,70	1000,40	999,20	999,30	998,10	1000,60	998,90	1000,30	998,90	999,80	999,50	999,10	998,90	1000,20	999,10	999,00	999,30	998,60	1000,00	999,30	999,00
D 800 (gr/cm3)	2,40	2,42	2,41	2,42	2,42	2,40	2,42	2,41	2,39	2,39	2,41	2,40	2,44	2,43	2,41	2,43	2,42	2,44	2,42	2,45	2,44	2,45	2,42	2,44
D Aparato (gr/cm3)	2,35	2,35	2,37	2,35	2,37	2,34	2,36	2,34	2,32	2,34	2,35	2,33	2,41	2,39	2,37	2,38	2,37	2,38	2,37	2,40	2,40	2,41	2,36	2,39
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga (Kg)	1200,00	1100,00	1150,00	1090,00	1050,00	1200,00	540,00	535,00	480,00	480,00	610,00	435,00	1250,00	1240,00	1240,00	1500,00	1420,00	1420,00	705,00	735,00	730,00	720,00	620,00	750,00
P <sub>1</sub> (Kg/cm2)	14,33	13,14	13,83	13,04	12,81	14,26	6,48	6,38	5,64	5,47	7,29	5,16	15,31	15,04	14,95	18,12	17,11	17,19	8,49	8,98	8,91	8,81	7,44	8,11
μ	13,54					8,67					16,29					8,62								
σ	0,71					0,79					1,35					0,62								
CV	0,65					0,13					0,68					0,07								
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---					
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs					
<b>PSEUDO MODULO</b>																								
Carga2 (Kg)	600,00	550,00	575,00	545,00	525,00	600,00	270,00	267,50	240,00	230,00	305,00	217,50	625,00	620,00	620,00	750,00	710,00	710,00	352,50	367,50	365,00	360,00	310,00	375,00
Delta (Cm)	0,87	1,35	1,04	0,81	1,27	0,81	0,79	0,71	0,81	0,97	0,58	0,81	0,89	0,94	1,07	1,52	0,84	1,27	0,84	0,87	0,69	0,76	0,76	0,58
P <sub>11</sub> (Kg/cm)	618,56	407,41	552,88	672,84	413,39	740,74	341,77	376,76	296,30	237,11	525,86	268,52	702,25	659,57	579,44	493,42	845,24	559,06	550,78	378,87	528,99	473,68	407,89	669,84
μ	567,64					341,05					639,83					501,64								
σ	136,61					103,44					124,97					105,86								
CV	0,24					0,30					0,20					0,21								

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P. Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS MONTERREY DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS																			FABRICACION LABORATORIO		OBRA: MTY-LAREDO		MUESTRA: VII			
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP																			MEZCLA TIPO:DENSA				FECHA: ABRIL/2004			
Probeta	C.A =						4,44%						C.A =						4,44%							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
A	998,80	998,50	1000,40	998,70	1000,40	999,20	999,30	998,10	1000,80	998,90	1000,30	998,90	999,80	999,50	999,10	998,90	1000,20	999,10	999,00	999,30	998,60	1000,00	999,30	999,00		
B	1004,80	1004,10	1004,00	1002,50	1004,80	1004,10	1002,30	1001,80	1008,90	1003,90	1004,00	1005,20	1002,00	1001,20	1000,70	1001,30	1002,20	1001,40	1003,30	1001,20	1000,00	1002,20	1004,40	1000,80		
C	589,00	591,30	589,20	589,70	591,30	587,70	589,70	588,40	589,10	588,40	588,70	588,80	592,70	589,40	588,50	590,60	589,60	591,50	590,40	593,10	591,50	594,60	592,30	591,90		
D BBS (gr/cm3)	2,40	2,42	2,41	2,42	2,42	2,40	2,42	2,41	2,39	2,39	2,41	2,40	2,44	2,43	2,41	2,43	2,42	2,44	2,42	2,45	2,44	2,45	2,42	2,44		
% absorcion	0,50%	0,46%	0,38%	0,38%	0,42%	0,46%	0,30%	0,37%	0,83%	0,50%	0,37%	0,83%	0,22%	0,17%	0,16%	0,24%	0,20%	0,23%	0,43%	0,19%	0,14%	0,22%	0,51%	0,18%		
μ	2,41						2,41						2,43						2,44							
σ	0,009						0,012						0,011						0,014							
cv	0,004						0,005						0,004						0,008							
μ	2,42																									
σ	0,02																									
cv	0,007																									
Temp 1	60°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
Tiempo	24 hrs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C		
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs																		
% VACIOS EN MEZCLA																										
ρ <sub>1</sub> Peso de la Mezcla: Asfalto (g)	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25		
Agregado (g)	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75	95,75		
Agregado	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34	36,34		
Asfalto	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14		
(ρ) <sub>1</sub> = v + q	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47		
(ρ) <sub>2</sub> = 100/h	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47		
100	97,32	98,00	97,81	97,92	97,96	97,12	98,02	97,72	98,93	98,83	97,48	97,09	98,86	98,23	97,63	98,44	98,11	98,85	97,92	99,10	98,94	99,30	98,14	98,88		
%VM = 100 - Vol.	2,68	2,00	2,39	2,08	2,04	2,88	1,98	2,28	3,07	3,17	2,52	2,91	1,14	1,77	2,37	1,56	1,89	1,35	2,08	0,90	1,06	0,70	1,86	1,12		
μ	1,99																									
σ	0,70																									
cv	0,351																									
Observaciones:																										
P.E. Asfalto	1,028	gr/cm3																								
P.E. Agregado	2,635	gr/cm3																								
Peso petreo	1000	gr																								
																	Laboratista: José Garduño P.		Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca							



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
LABORATORIO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN	DIAMETRAL
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MUESTRA: VII
	MEZCLA TIPO:DENSA	
	FECHA: ABRIL/2004	

**INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO**

Probeta	CA =					4,90%	CA =					4,90%	CA =					4,90%	CA =					4,90%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altura I (Cm)	53,48	52,10	51,68	52,40	52,26	52,10	52,26	52,50	52,00	51,84	52,26	52,06	52,12	52,80	52,36	53,14	52,38	52,06	52,02	52,38	52,84	52,52	52,76	51,88
Altura II (Cm)	53,66	52,16	51,44	51,92	52,30	52,14	52,00	52,36	52,10	51,94	52,52	52,00	52,06	52,62	52,22	53,04	52,48	52,96	52,26	52,40	52,92	52,56	52,66	52,20
Altura III (Cm)	53,70	52,12	51,68	51,98	52,32	52,22	52,18	52,02	52,10	52,06	52,38	52,14	52,06	52,70	52,20	53,04	52,46	52,82	52,22	52,38	52,72	52,34	52,78	52,06
h prom	53,61	52,13	51,60	52,10	52,29	52,15	52,15	52,29	52,07	51,95	52,39	52,07	52,06	52,71	52,26	53,07	52,44	52,88	52,17	52,39	52,83	52,47	52,73	52,05
Peso (gr)	999,20	1000,80	1000,20	999,30	999,40	999,30	998,50	998,10	1000,20	1001,60	998,00	997,20	998,20	998,20	998,60	1001,30	998,30	998,50	998,20	998,30	997,70	999,40	999,80	1000,20
D SBS (g/cm3)	2,39	2,42	2,43	2,42	2,42	2,41	2,41	2,41	2,42	2,42	2,41	2,42	2,41	2,40	2,41	2,40	2,40	2,39	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,42
D Aparato (g/cm3)	2,30	2,37	2,39	2,37	2,36	2,36	2,36	2,35	2,37	2,38	2,35	2,36	2,36	2,34	2,36	2,33	2,35	2,33	2,36	2,35	2,33	2,35	2,34	2,37
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	1050,00	1390,00	1475,00	1450,00	1200,00	1750,00	640,00	720,00	620,00	730,00	680,00	690,00	1600,00	1150,00	1760,00	1350,00	1550,00	1460,00	700,00	780,00	645,00	720,00	620,00	680,00
Px (Kg/cm2)	12,27	16,71	17,91	17,44	14,38	21,03	7,69	8,63	7,46	8,81	8,13	8,30	19,25	13,67	21,10	15,94	18,52	17,30	8,41	9,33	7,65	8,60	7,37	8,19
$\mu$	16,62					8,17					17,63					8,26								
$\sigma$	3,02					0,52					2,61					0,70								
CV	0,18					0,06					0,15					0,08								
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---					
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs					
<b>PSEUDO MODULO</b>																								
Carga2 (Kg)	525,00	695,00	737,50	725,00	600,00	875,00	320,00	360,00	310,00	365,00	340,00	345,00	800,00	575,00	880,00	675,00	775,00	730,00	350,00	390,00	322,50	360,00	310,00	340,00
Delta (Cm)	1,07	1,04	1,17	1,19	1,13	1,02	0,94	0,56	0,94	0,97	0,64	1,02	1,27	0,81	0,91	0,91	0,97	1,27	0,99	1,00	0,84	0,89	1,14	0,89
PM (Kg/cm)	490,65	668,27	630,34	609,24	532,39	857,84	340,43	642,86	329,79	376,29	531,25	338,24	629,92	709,88	967,03	741,76	796,97	574,80	353,54	390,00	383,93	404,49	271,93	382,02
$\mu$	631,46					426,47					737,06					364,32								
$\sigma$	128,64					130,27					138,05					48,22								
CV	0,20					0,31					0,19					0,13								

Observaciones:

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FABRICACION	
LABORATORIO	
ASFALTO	OBRA: MTY-LAREDO      MUESTRA: VIII
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	MEZCLA TIPO: DENSA
	FECHA: ABRIL/2004

**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

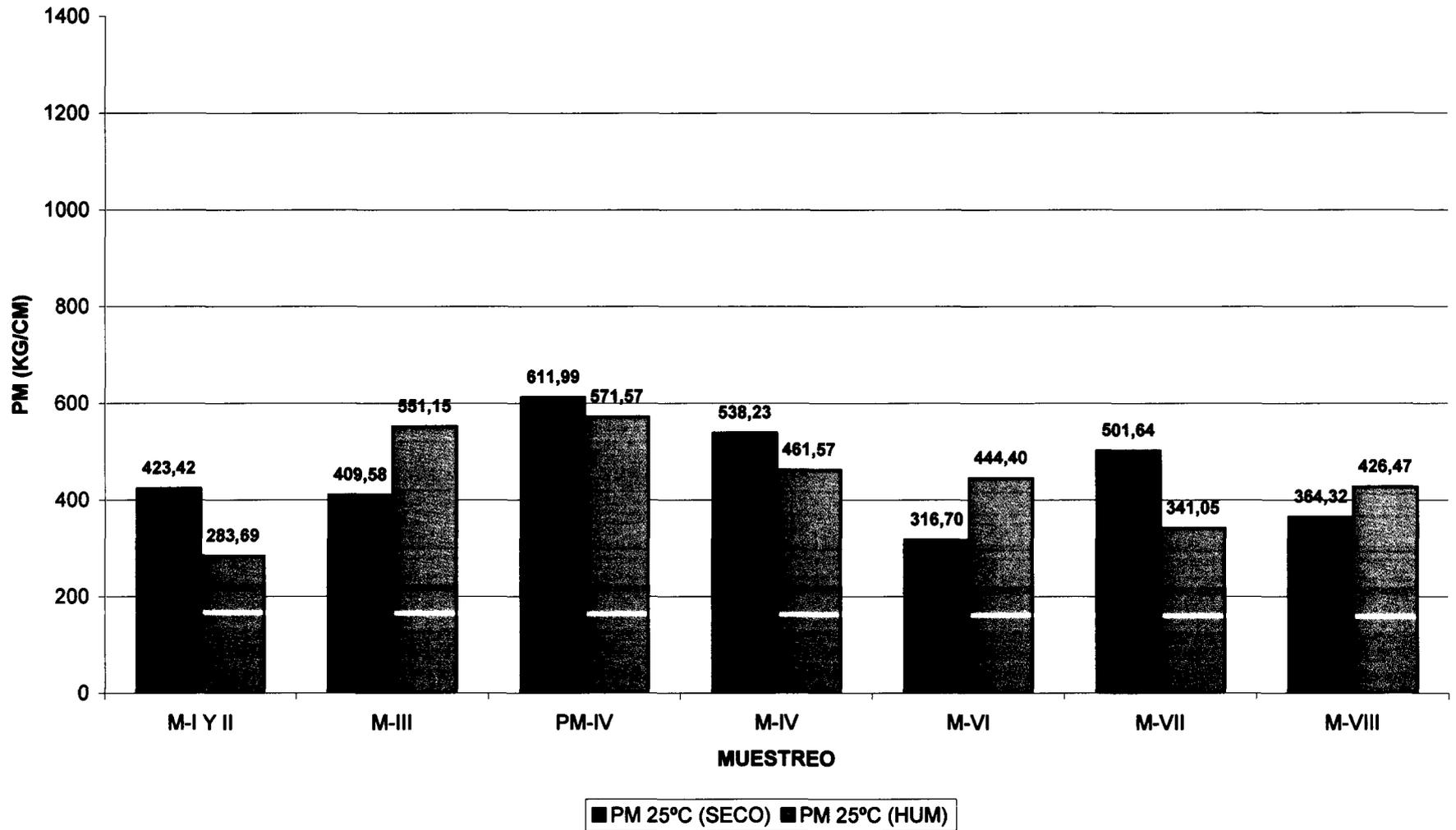
Probeta	C.A =					5,21%	C.A =					5,21%	C.A =					5,21%	C.A =					5,21%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	999,20	1000,80	1000,20	999,30	999,40	999,30	998,50	998,10	1000,20	1001,80	998,00	997,20	998,20	998,20	999,80	1001,30	998,30	999,50	998,20	998,30	997,70	999,40	999,80	1000,20
B	1008,00	1003,70	1002,40	1001,80	1003,00	1001,80	1001,50	1001,20	1002,70	1003,90	1000,90	1000,50	1001,20	1002,80	1002,40	1007,40	1001,10	1003,60	1001,10	1003,70	1002,40	1002,00	1004,50	1002,80
C	590,20	590,20	591,60	588,70	589,60	587,20	587,30	588,90	588,70	590,40	588,00	589,10	587,30	588,90	587,80	590,60	585,70	585,60	586,80	588,80	588,00	585,40	588,10	590,30
D SSS (gr/cm <sup>3</sup> )	2,39	2,42	2,43	2,42	2,42	2,41	2,41	2,41	2,42	2,42	2,41	2,42	2,41	2,40	2,41	2,40	2,39	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,40	2,42
% absorcion	0,88%	0,29%	0,22%	0,25%	0,36%	0,25%	0,30%	0,31%	0,25%	0,23%	0,29%	0,33%	0,30%	0,44%	0,28%	0,61%	0,28%	0,41%	0,29%	0,54%	0,47%	0,26%	0,47%	0,26%
μ	2,42					2,41					2,40					2,41								
σ	0,014					0,007					0,008					0,010								
CV	0,006					0,003					0,003					0,004								
μ	2,41																							
σ	0,01																							
CV	0,006																							
Temp 1	60°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
Tiempo	24 hrs	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Tiempo	24 hrs																							

**% VACIOS EN MEZCLA**

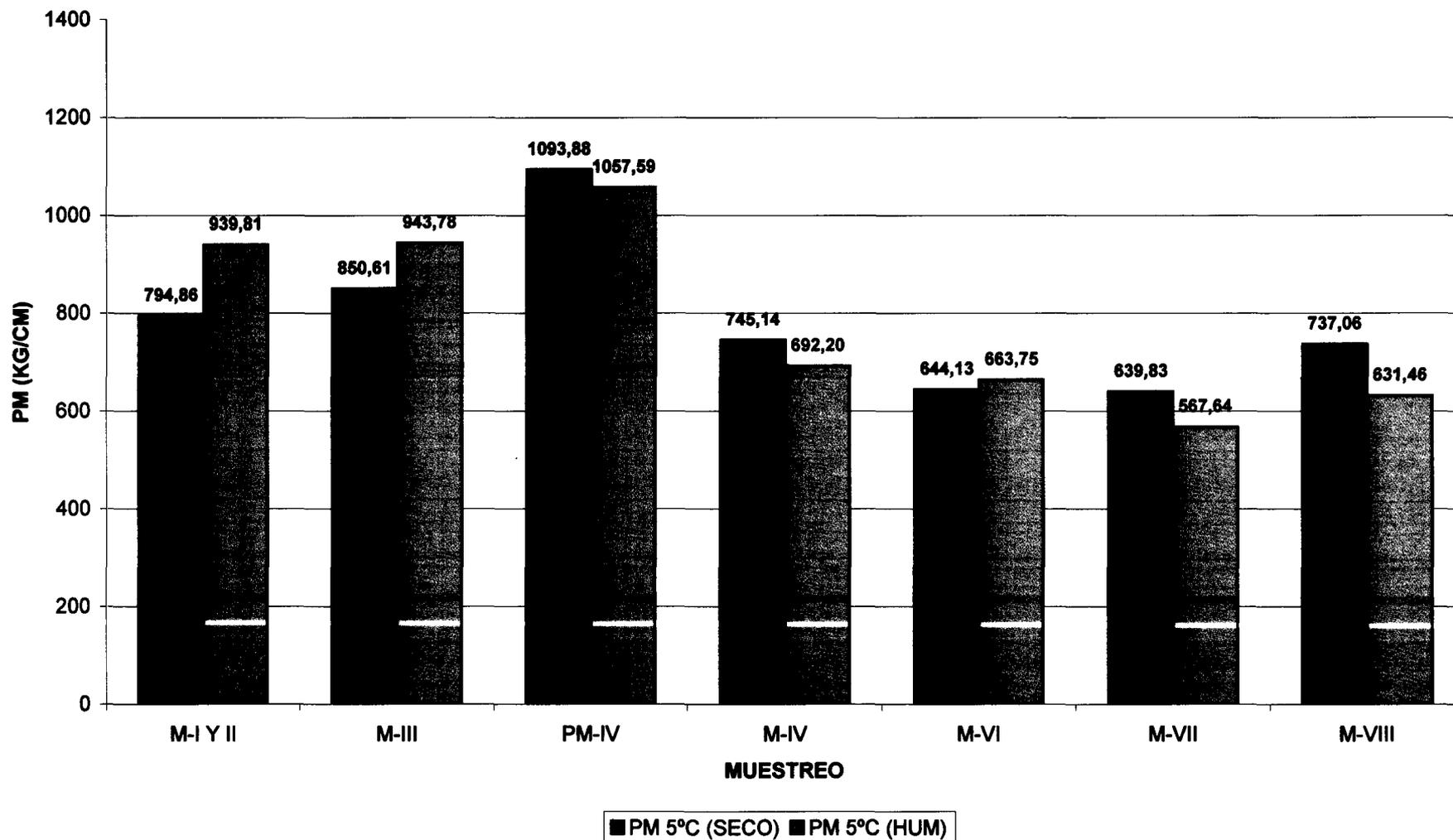
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
% Peso de la Mezcla: Asfalto (a)	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
% Peso de la Mezcla: Agregado (c)	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05	95,05
(v) = m/P.E. Agregado	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07	36,07
(q) = m/P.E. Asfalto	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
(s) = v + q	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89	40,89
(g) = 100/s	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
Volumen = (g) x 100	97,79	98,96	99,55	98,91	98,85	98,55	98,57	98,51	98,78	99,04	98,35	99,11	98,61	98,18	98,58	98,23	98,26	97,77	98,52	98,38	97,97	98,09	98,18	99,14
% VV = 100 - Vol.	2,21	1,04	0,45	1,09	1,15	1,45	1,43	1,49	1,22	0,96	1,65	0,89	1,39	1,82	1,42	1,77	1,74	2,23	1,48	1,62	2,03	1,91	1,82	0,86
μ	1,46																							
σ	0,45																							
CV	0,307																							

Observaciones:		
P.E. Asfalto	1,028 gr/cm <sup>3</sup>	
P.E. Agregado	2,635 gr/cm <sup>3</sup>	
Peso petreo	1000 gr	
	Laboratista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

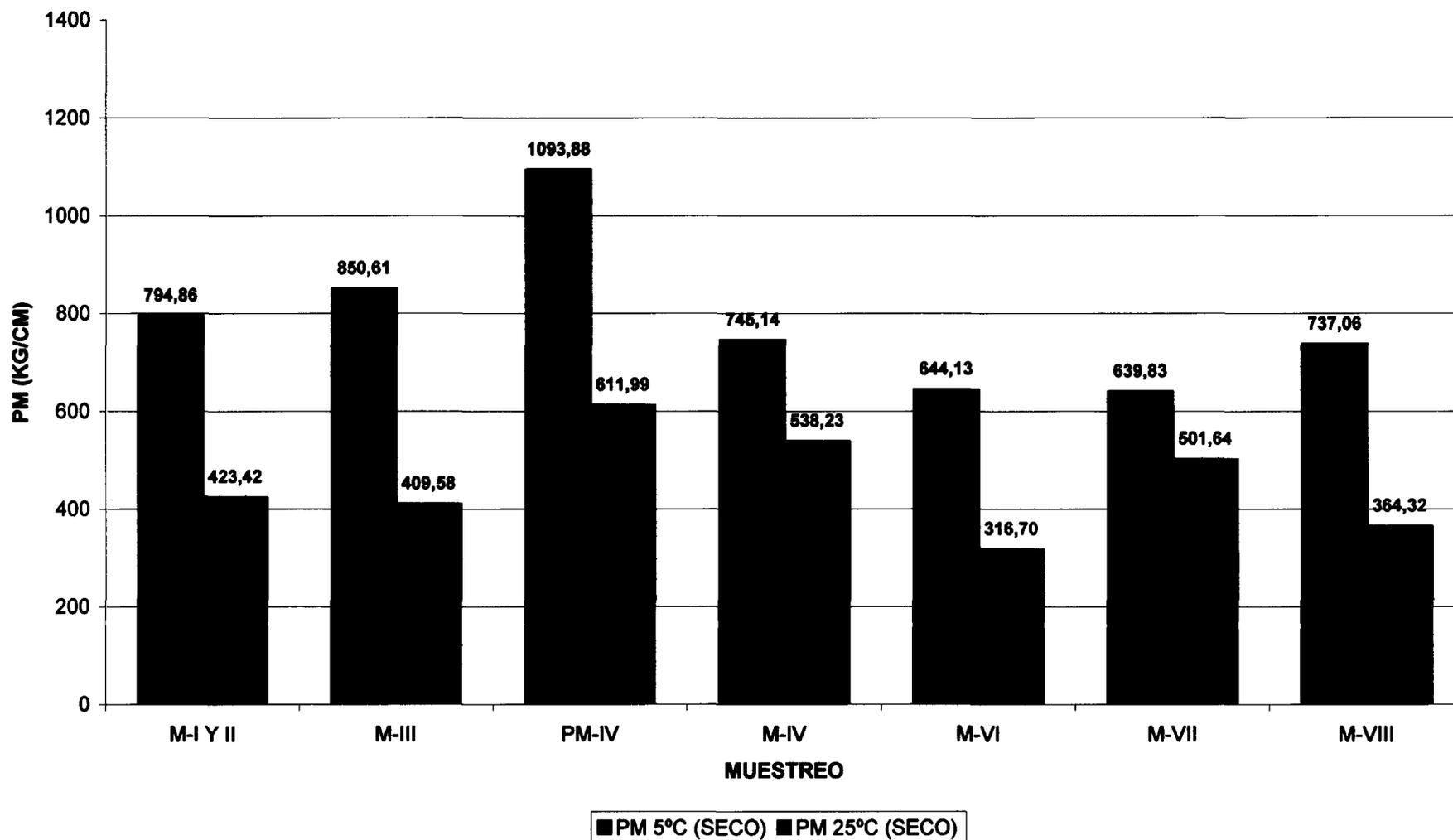
**MUESTREO DE CAMPO  
PM 25°C (SECO Y HUMEDO)**



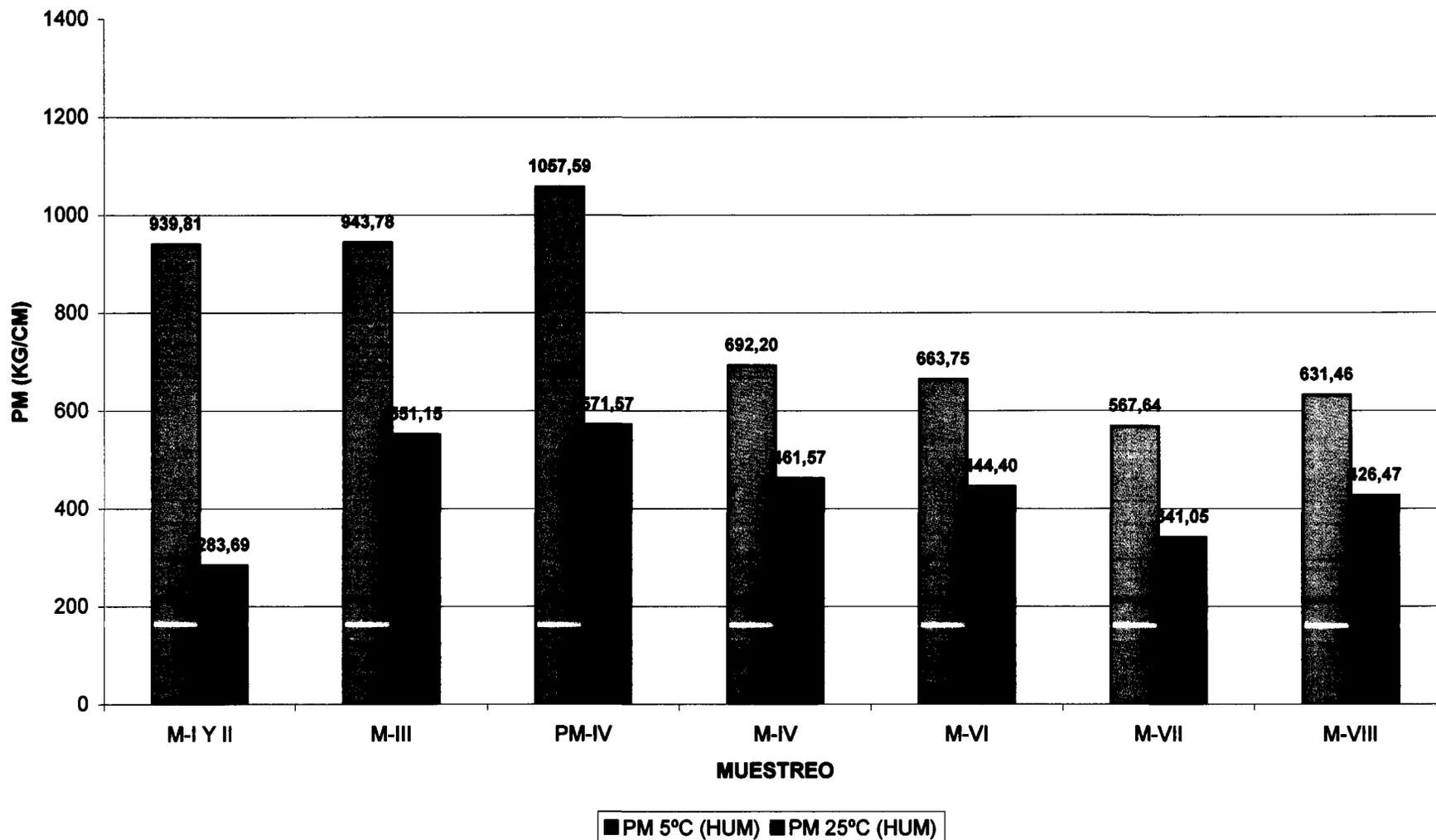
**MUESTREO DE CAMPO  
PM 5°C (SECO Y HUMEDO)**



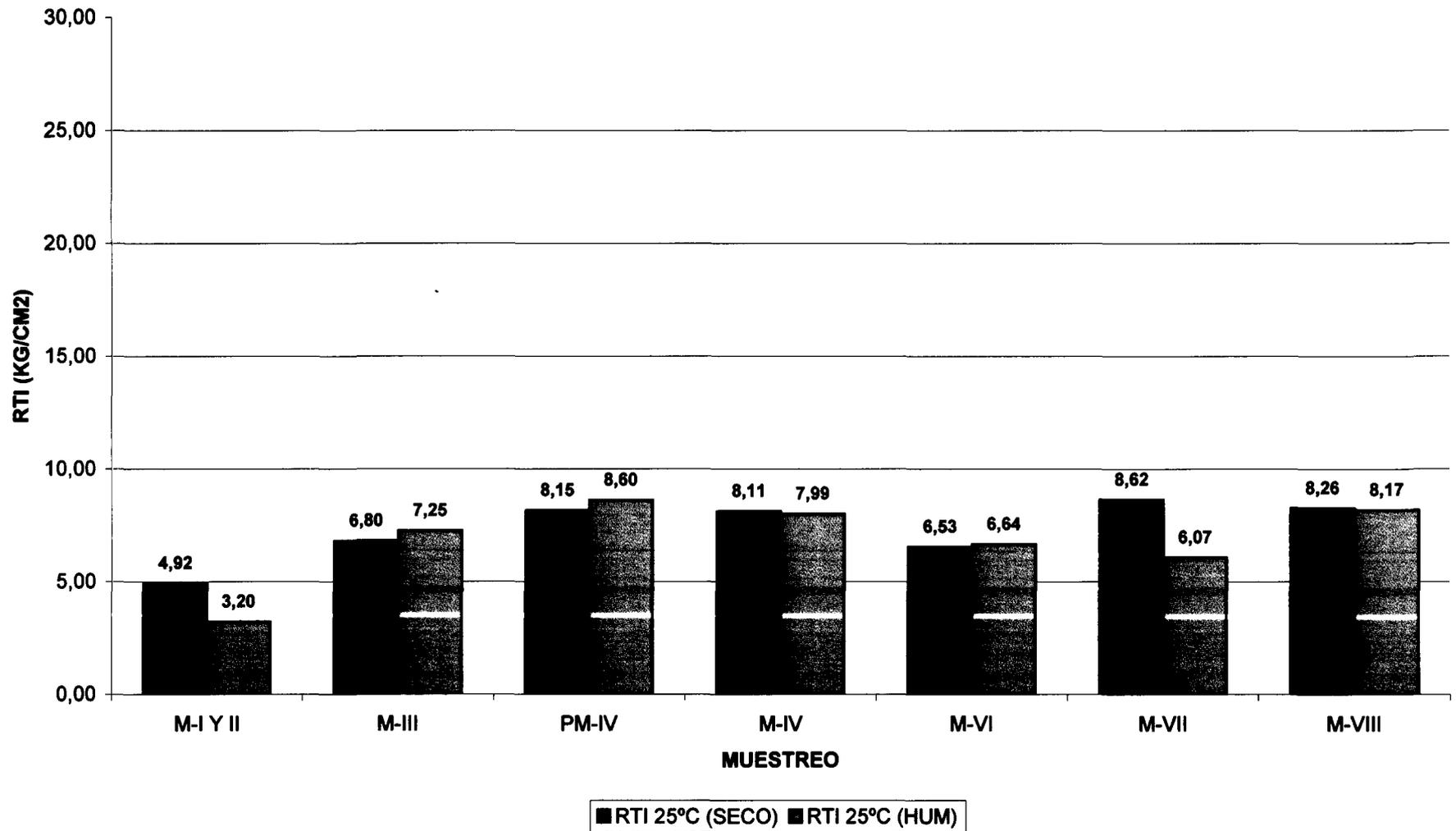
**MUESTREO EN CAMPO  
PM 5°C Y 25°C (SECO)**



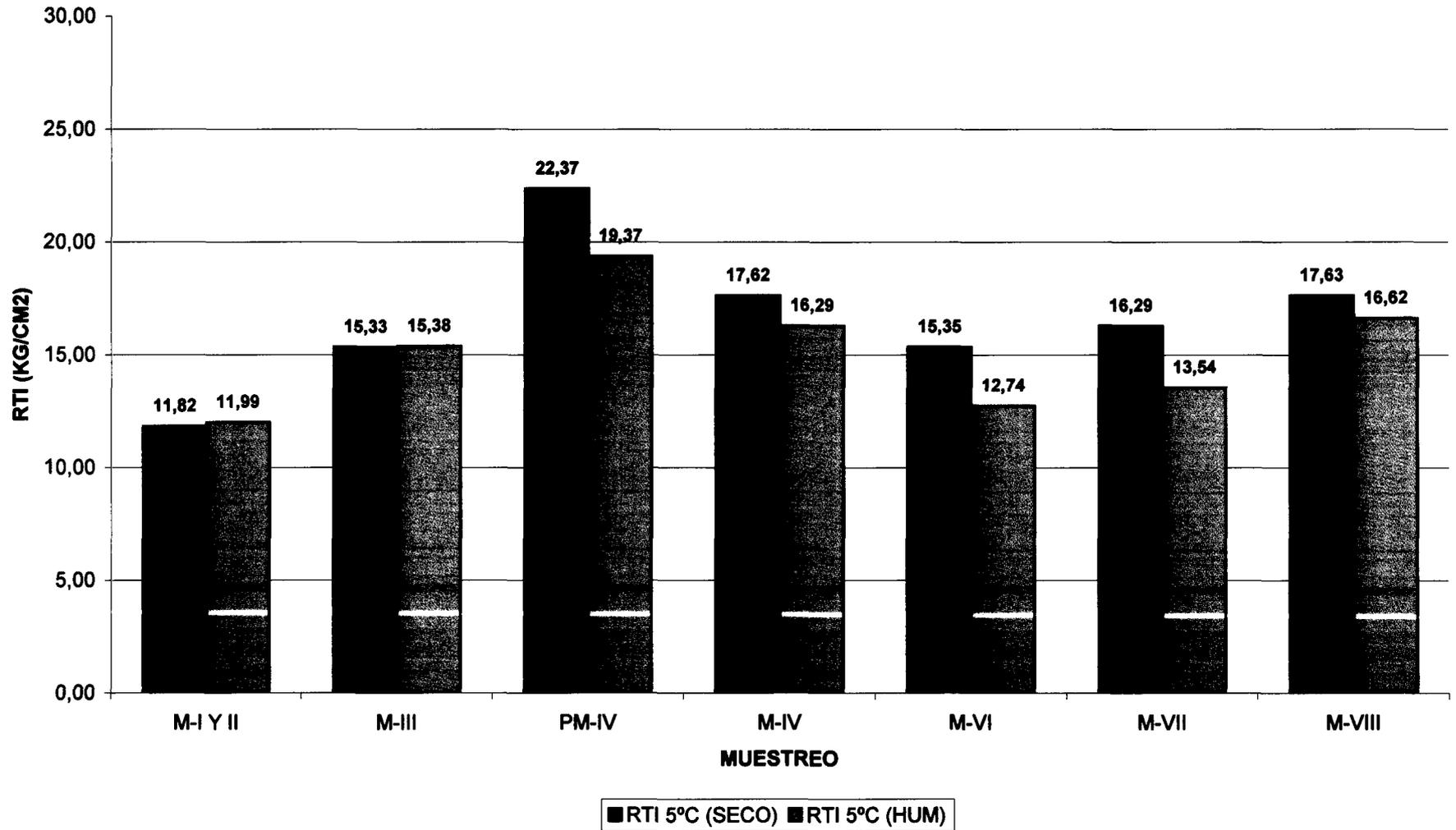
**MUESTREO EN CAMPO  
PM 5°C Y 25°C (HUMEDO)**



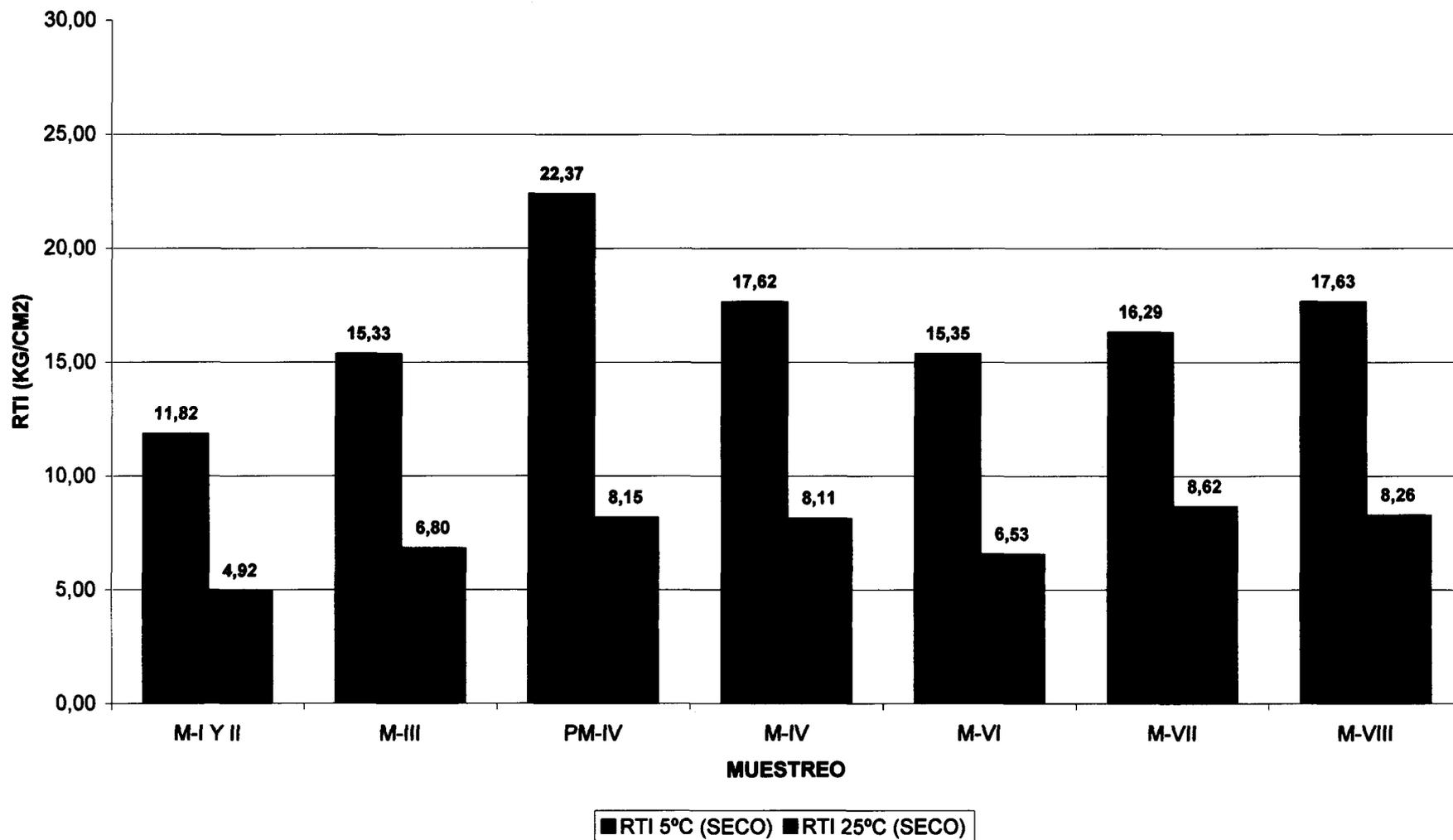
**MUESTREO DE CAMPO  
RTI 25°C (SECO Y HUMEDO)**



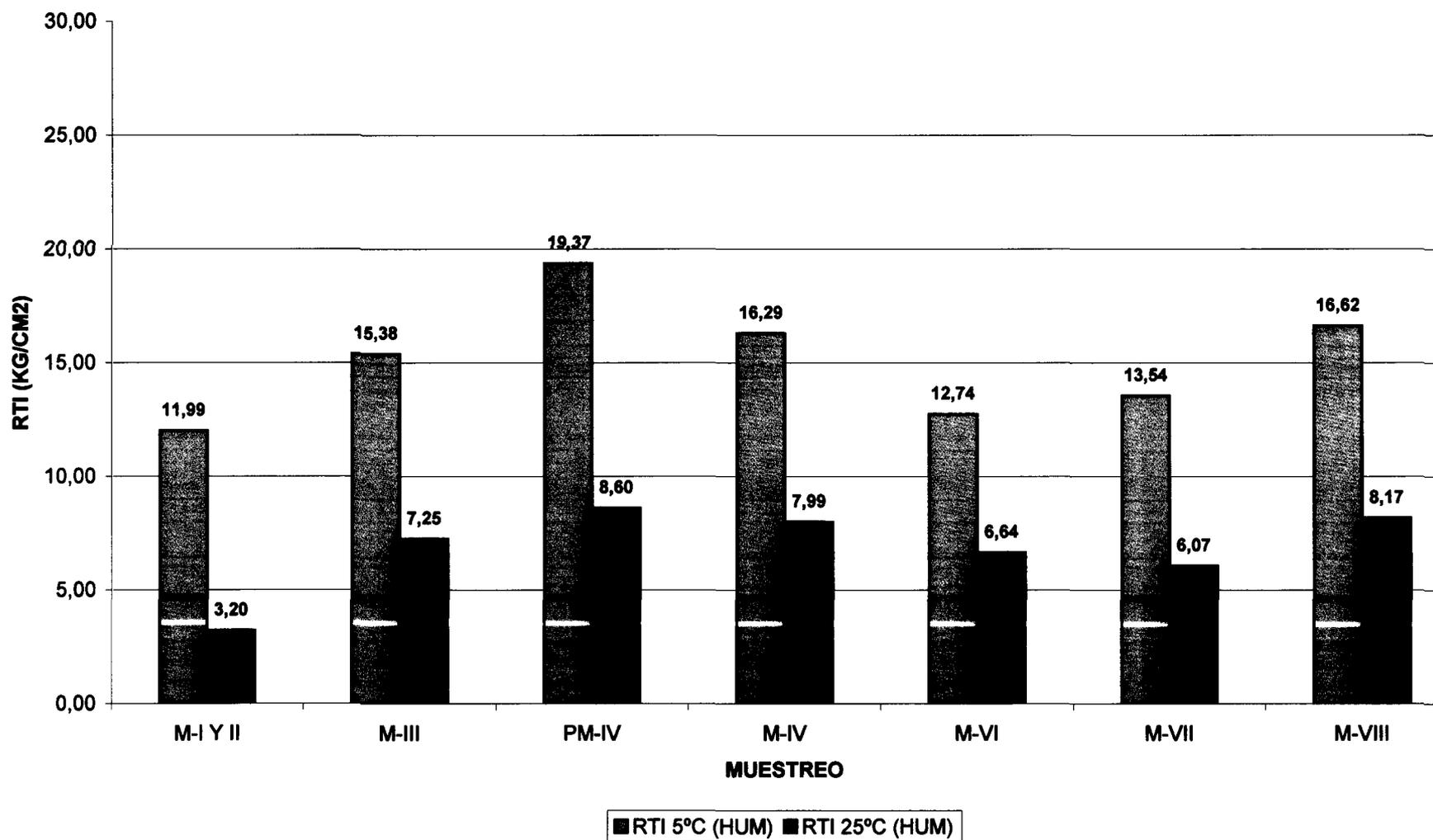
**MUESTREO DE CAMPO  
RTI 5°C (SECO Y HUMEDO)**



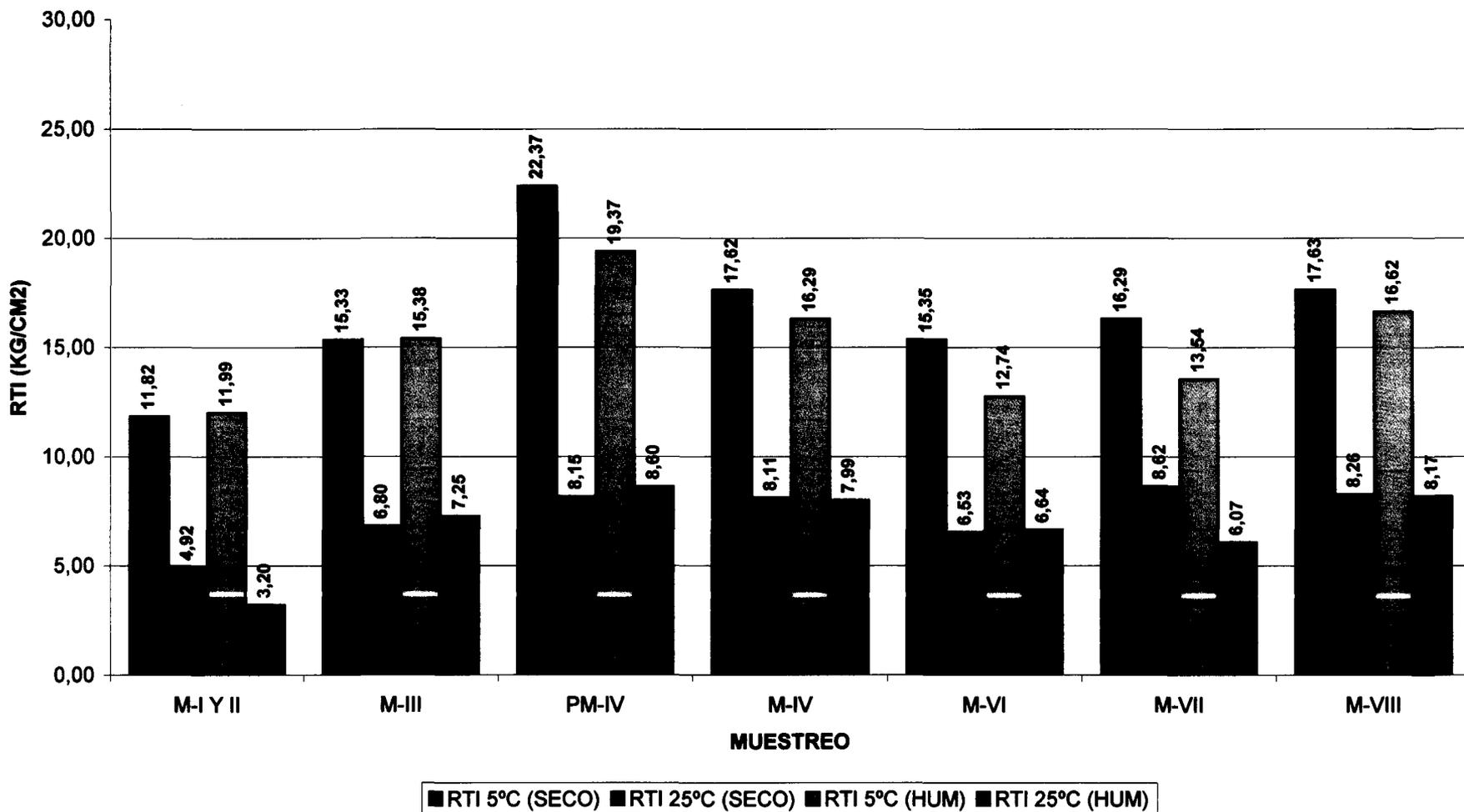
**MUESTREO EN CAMPO  
RTI 5°C Y 25°C (SECO)**



**MUESTREO EN CAMPO  
RTI 5°C Y 25°C (HUMEDO)**



**RESUMEN DE RESULTADOS  
MUESTREO DE CAMPO  
RTI (TODOS)**



**A-1-3      RESULTADOS DE CAMPO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**RESUMEN RTI-PM-DPP**

<b>FABRICACION</b>	<b>ENSAYO DE TENSION INDIRECTA</b>	
<b>LABORATORIO</b>	<b>RESULTADOS DE</b>	
<b>ASFALTO</b>	<b>RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL</b>	
	<b>OBRA: MTY-LAREDO</b>	<b>CONTROL</b>
	<b>MEZCLA TIPO:DENSA</b>	
<b>AC-20 + 2.5% SBS</b>	<b>FECHA: ABRIL/2004</b>	

MUESTREO		TESTIGOS		
RESISTENCIA TENSION INDIRECTA				
SECO		$\mu$	$\sigma$	$\sigma'$
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	13,77	2,83	0,208
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	4,28	0,48	0,111
HÚMEDO		$\mu$	$\sigma$	$\sigma'$
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	5°C	11,96	3,43	0,287
RTI (kg/cm <sup>2</sup> )	25°C	5,07	0,83	0,164
PSEUDO MODULO				
SECO		$\mu$	$\sigma$	$\sigma'$
PM (kg/cm)	5°C	685,01	245,16	0,358
PM (kg/cm)	25°C	222,94	68,88	0,300
HÚMEDO		$\mu$	$\sigma$	$\sigma'$
PM (kg/cm)	5°C	575,75	178,99	0,307
PM (kg/cm)	25°C	256,03	71,56	0,280
DENSIDAD SBS				
D SBS (gr/cm <sup>3</sup> )		2,34	0,05	0,022
%Vacíos Mezcla				
		4,57	2,06	0,451

Observaciones:		
	Laboralista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY CAMPUS MONTERREY DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO																								FABRICACION		ENSAYO DE TENSION INDIRECTA RESULTADOS DE			
																								CAMPO		RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL			
																								ASFALTO		OBRA: MTY-LAREDO		TESTIGOS SII	
																								AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP		MEZCLA TIPO:DENSA			
																										FECHA: ABRIL/2004			
C.A =		4,90%							C.A =							4,90%													
Probeta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Altura I (Cm)	59,62	52,70	36,22	59,38	57,56	65,22	59,28	59,88	58,38	44,76	58,04	39,32	48,06	44,22	66,32	64,18	60,30	62,20	56,42	54,60	71,28	60,66							
Altura II (Cm)	58,34	53,42	36,70	58,44	55,32	65,46	58,98	62,46	58,30	43,54	59,12	39,44	48,12	45,74	67,98	64,82	58,66	62,72	57,46	53,38	68,34	61,72							
Altura III (Cm)	59,72	52,58	37,28	59,14	55,68	65,62	58,68	62,10	58,48	43,58	57,42	39,38	48,52	44,86	67,30	66,86	62,48	67,36	58,00	52,92	68,54	63,24							
h prom	59,23	52,90	36,73	58,99	56,19	65,43	58,98	61,48	58,39	43,96	58,19	39,38	48,23	44,94	67,20	65,29	60,48	64,09	57,29	53,63	69,39	61,87							
Peso (gr)	1155,80	974,90	662,20	1092,50	1327,10	1707,80	1571,60	1464,50	1097,10	1240,20	1132,50	740,90	929,70	812,20	1565,20	1768,70	1265,60	1447,10	1256,00	1286,20	1783,90	1436,10							
D SBS (gr/cm3)	2,38	2,28	2,31	2,36	2,27	2,24	2,44	2,31	2,31	2,34	2,36	2,29	2,35	2,27	2,44	2,37	2,37	2,37	2,35	2,33	2,38	2,33							
D Aparente (gr/cm3)	2,41	2,27	2,22	2,28	2,91	3,22	3,29	2,94	2,32	3,48	2,40	2,32	2,38	2,23	2,87	3,34	2,58	2,78	2,70	2,96	3,17	2,86							
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16							
Carga(Kg)	1450,00	850,00	500,00	1240,00	850,00	950,00	1720,00	1150,00	1000,00	800,00	1250,00	640,00	1070,00	250,00	560,00	565,00	510,00	495,00	440,00	440,00	740,00	470,00							
Pz (Kg/cm2)	15,34	10,07	8,53	13,17	9,48	9,10	18,27	11,72	10,73	11,40	13,46	10,18	13,90	3,49	5,22	5,42	5,28	4,84	4,81	5,14	6,68	4,76							
$\mu$	11,96							11,94							5,07														
$\sigma$	3,43							1,66							0,83														
CV	0,29							0,14							0,16														
Temp 1	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	---	---	---	---	---	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C	60°C							
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	---	---	---	---	---	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs							
Temp 2	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C							
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs	24 hrs							
PSEUDO MODULO																													
Carga/2 (Kg)	725,00	425,00	250,00	620,00	425,00	475,00	860,00	575,00	500,00	400,00	625,00	320,00	535,00	125,00	280,00	282,50	255,00	247,50	220,00	220,00	370,00	235,00							
Delta (Cm)	1,27	0,79	0,97	0,79	0,89	0,81	1,04	1,02	0,79	0,79	1,04	0,79	0,79	0,76	1,27	1,02	1,02	1,27	0,76	0,94	0,89	0,91							
Pm (Kg/cm)	570,87	537,97	257,73	784,81	477,53	586,42	826,92	563,73	632,91	506,33	600,96	405,06	677,22	164,47	220,47	276,96	250,00	194,88	289,47	234,04	415,73	258,24							
$\mu$	575,75							564,50							256,03														
$\sigma$	176,99							108,99							71,56														
CV	0,31							0,19							0,28														
Observaciones: TESTIGOS EXTRAIDOS EN CAMPO CON MAQUINA PERFORADORA.																													
																		Laboralista: José Gerduño P.			Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca								



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

<b>FABRICACION</b>	<b>ENSAYO DE TENSION INDIRECTA</b>	
<b>CAMPO</b>	<b>RESULTADOS DE</b>	
<b>ASFALTO</b>	<b>DENSIDADES SUMERGIDAS</b>	<b>TESTIGOS SII</b>
	<b>OBRA: MTY-LAREDO</b>	<b>MEZCLA TIPO: DENSA</b>
	<b>FECHA: ABRIL/2004</b>	

Probeta	C.A =								C.A =								4,90%								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		17	18	19	20	21	22		
A	1155,80	974,90	662,20	1092,50	1327,10	1707,80	1571,60	1464,50	1097,10	1240,20	1132,50	740,90	929,70	812,20	1565,20	1768,70	1265,60	1447,10	1256,00	1286,20	1783,90	1436,10			
B	1160,00	985,30	672,00	1097,70	1341,20	1720,10	1574,50	1473,20	1105,90	1251,10	1139,00	748,60	935,30	824,70	1570,50	1776,20	1271,90	1451,70	1268,40	1295,70	1791,80	1449,40			
C	675,00	558,10	384,80	634,00	756,50	958,90	930,00	839,30	630,30	720,50	658,80	425,60	539,20	467,20	928,40	1029,80	736,80	841,50	733,60	743,90	1041,90	833,60			
D SBS (gr/cm3)	2,38	2,28	2,31	2,36	2,27	2,24	2,44	2,31	2,31	2,34	2,36	2,29	2,35	2,27	2,44	2,37	2,37	2,37	2,35	2,33	2,38	2,33			
% absorcion	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01			
$\mu$	2,38								2,33								2,36								
$\sigma$	0,06								0,03								0,04								
cv	0,03								0,01								0,02								
$\mu$	2,34																								
$\sigma$	0,05																								
cv	0,02																								

| Temp 1 | 60°C   | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | 60°C   |  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Tiempo | 24 hrs | ---    | ---    | ---    | ---    | ---    | 24 hrs |  |
| Temp 2 | 5°C    | 25°C   |  |
| Tiempo | 24 hrs |  |

% VACIOS EN MEZCLA																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
n	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	
Agregado (1)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	
Asfalto	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	
(p) = v + q	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	
(g) = 100/e	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	
100	97,04	92,93	93,89	95,94	92,43	91,36	99,30	94,08	93,94	95,18	96,04	93,41	95,58	92,52	99,26	96,50	96,31	96,57	95,64	94,92	96,87	94,97	
%VM = 100 - Vol.	2,96	7,07	6,11	4,06	7,57	8,64	0,70	5,92	6,06	4,82	3,96	6,59	4,42	7,48	0,74	3,50	3,69	3,43	4,36	5,08	3,13	5,03	
$\mu$	4,79																						
$\sigma$	2,05																						
cv	0,429																						

<b>Observaciones:</b>	P.E. Asfalto 1,028 gr/cm3 P.E. Agregado 2,635 gr/cm3 Peso petreo 1000 gr	
	Laboratorista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DEL ENSAYO DE TENSION INDIRECTA Y PSEUDO MODULO

FABRICACION	ENSAYO DE TENSION INDIRECTA	
CAMPO	RESULTADOS DE	
ASFALTO	RESISTENCIA COMPRESIÓN DIAMETRAL	TESTIGOS SI
AC-20 + 1.5 EVA + 0.3 AP	OBRA: MTY-LAREDO	MEZCLA TIPO:DENSA
	FECHA: ABRIL/2004	

Probeta	C.A =								C.A =							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	9*	10*	11*	12*	13*
Altura I (Cm)	51,98	55,86	54,20	53,40	53,28	56,70	54,52	40,30	70,88	55,00	59,72	58,38	44,76	58,04	39,32	48,06
Altura II (Cm)	52,20	56,00	53,56	54,16	54,12	57,32	54,14	40,60	70,30	54,02	59,86	58,30	43,54	59,12	39,44	48,12
Altura III (Cm)	51,90	56,28	53,58	56,96	55,00	57,98	53,00	40,72	68,82	54,38	60,40	58,48	43,58	57,42	39,38	48,52
h prom	52,03	56,05	53,78	54,84	54,13	57,33	53,89	40,54	70,00	54,47	59,99	58,39	43,96	58,19	39,38	48,23
Peso (gr)	1034,90	1392,10	1018,90	1014,60	1037,70	1088,70	1190,70	1116,10	1382,20	1054,70	1184,10	1097,10	1240,20	1132,50	740,90	929,70
D SBS (gr/cm3)	2,26	2,41	2,32	2,32	2,43	2,34	2,30	2,35	2,40	2,38	2,39	2,31	2,34	2,36	2,29	2,35
D Aparente (gr/cm3)	2,45	3,06	2,34	2,28	2,36	2,34	2,73	3,40	2,44	2,39	2,43	2,32	3,48	2,40	2,32	2,38
Diámetro (Cm)	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16	10,16
Carga(Kg)	340,00	480,00	320,00	360,00	410,00	410,00	350,00	250,00	1840,00	1480,00	1650,00	1000,00	800,00	1250,00	640,00	1070,00
Pz (Kg/cm2)	4,09	5,14	3,73	4,11	4,75	4,48	4,07	3,86	16,47	16,80	17,23	10,73	11,40	13,46	10,18	13,90
$\mu$	4,28								13,77							
$\sigma$	0,48								2,83							
cv	0,11								0,21							
Temp 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiempo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temp 2	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C							
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs													
PSEUDO MODULO																
Carga/2 (Kg)	170,00	230,00	160,00	180,00	205,00	205,00	175,00	125,00	920,00	730,00	825,00	500,00	400,00	625,00	320,00	535,00
Delta (Cm)	1,02	0,81	1,02	0,56	0,71	1,02	0,81	0,84	0,79	0,79	1,45	0,79	0,79	1,04	0,79	0,79
Pm (Kg/cm)	166,67	283,95	156,86	321,43	288,73	200,98	216,05	148,81	1164,56	924,05	568,97	632,91	506,33	600,96	405,06	677,22
$\mu$	222,94								685,01							
$\sigma$	66,88								245,16							
cv	0,30								0,36							

Observaciones:

\* Mismos testigos de la serie II a 5°C

Laboratorista: José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**CAMPUS MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**  
**INFORME DENSIDADES SATURADAS Y SUPERFICIALMENTE SECAS**

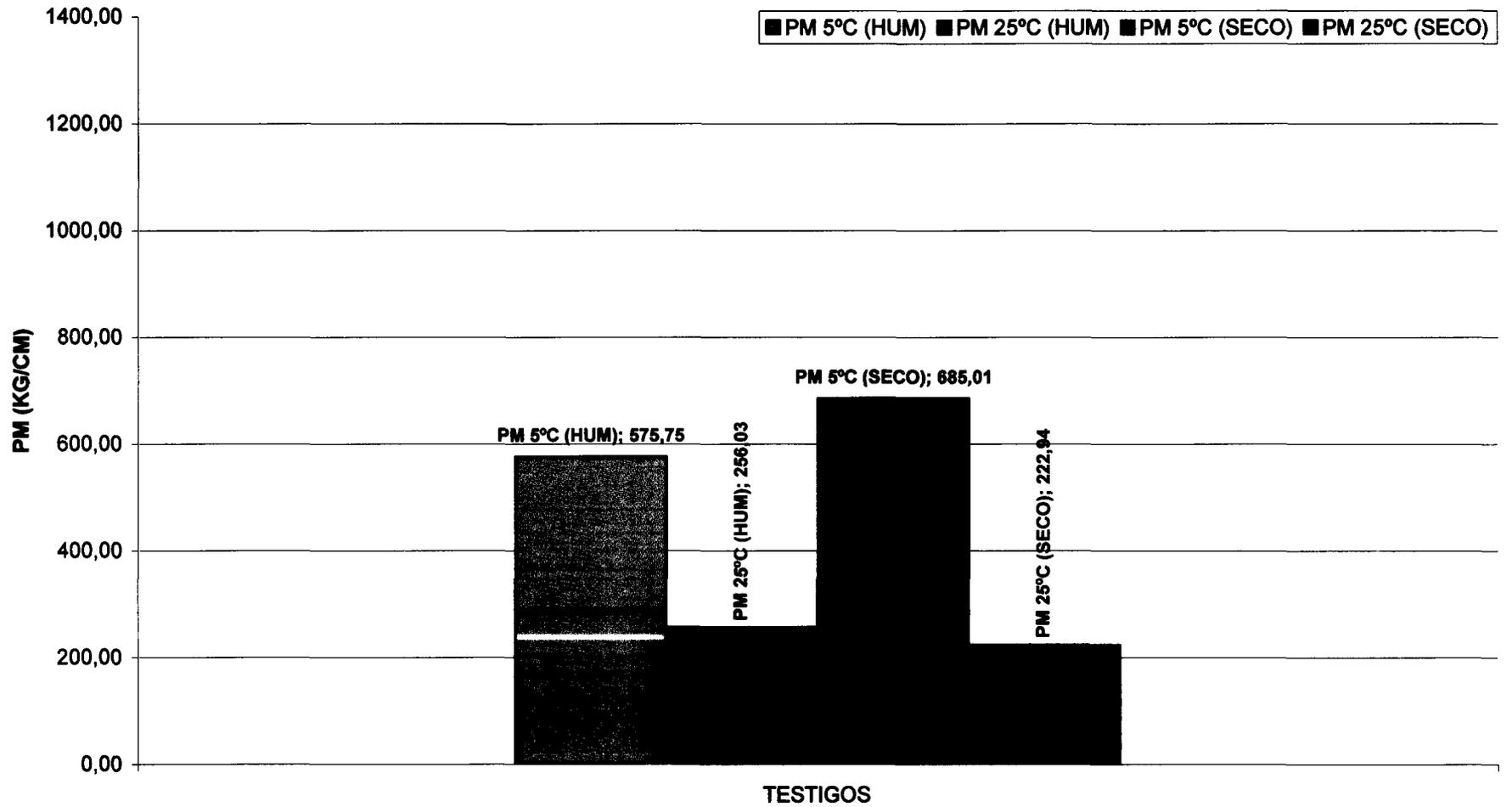
<b>FABRICACION</b>	<b>ENSAYO DE TENSION INDIRECTA</b>	
<b>CAMPO</b>	<b>RESULTADOS DE</b>	
<b>ASFALTO</b>	<b>DENSIDADES SUMERGIDAS</b>	<b>TESTIGOS SI</b>
	<b>OBRA: MTY-LAREDO</b>	
	<b>MEZCLA TIPO:DENSA</b>	
	<b>FECHA: ABRIL/2004</b>	

Probeta	C.A =								C.A =								4,90%		4,90%	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	9*	10*	11*	12*	13*				
A	1034,90	1392,10	1018,90	1014,60	1037,70	1088,70	1190,70	1116,10	1382,20	1054,70	1184,10	1097,10	1240,20	1132,50	740,90	929,70				
B	1048,20	1392,80	1020,60	1023,00	1038,10	1091,80	1204,70	1119,90	1382,80	1056,50	1187,00	1105,90	1251,10	1139,00	748,60	935,30				
C	589,90	815,50	581,50	585,10	610,30	627,20	688,00	645,30	807,40	612,90	690,90	630,30	720,50	658,80	425,60	539,20				
D SBS (gr/cm3)	2,26	2,41	2,32	2,32	2,43	2,34	2,30	2,35	2,40	2,38	2,39	2,31	2,34	2,36	2,29	2,35				
% absorcion	1,29%	0,05%	0,17%	0,83%	0,04%	0,28%	1,18%	0,34%	0,04%	0,17%	0,24%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01				
$\mu$	2,34								2,35											
$\sigma$	0,06								0,04											
cv	0,02								0,02											
$\mu$	2,35								0,05											
$\sigma$	0,05								0,02											
cv	0,02																			
Temp 1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
Tiempo	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
Temp 2	25°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C	5°C											
Tiempo	24 hrs	24 hrs	24 hrs																	

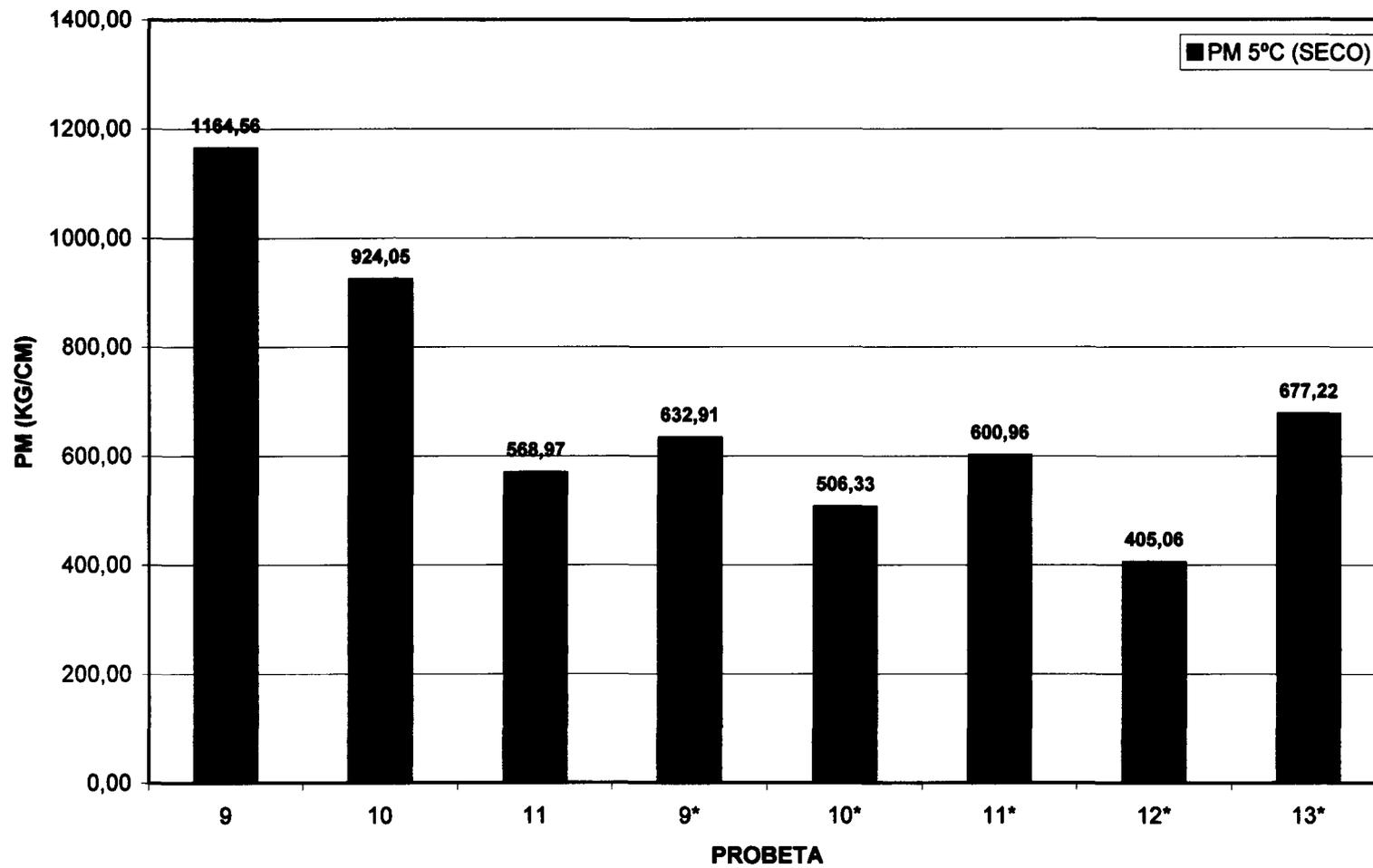
% VACIOS EN MEZCLA																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	9*	10*	11*	12*	13*
$\mu$	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67
Agregado (v)	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33	95,33
Agregado	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18	36,18
Asfalto	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54	4,54
(g)= v + q	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72	40,72
(g)= 100h	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
100	91,96	98,20	94,49	94,35	98,78	95,42	93,84	95,76	97,82	96,82	97,20	93,94	95,18	96,04	93,41	95,58
%VM = 100 - Vol.	8,04	1,80	5,51	5,65	1,22	4,58	6,16	4,24	2,18	3,18	2,80	6,06	4,82	3,96	6,59	4,42
$\mu$	4,12															
$\sigma$	2,10															
cv	0,510															

<b>Observaciones:</b> P.E. Asfalto 1,028 gr/cm3 P.E. Agregado 2,635 gr/cm3 Peso petreo 1000 gr	Laboratorista: José Garduño P.	Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca
---	--------------------------------	-------------------------------

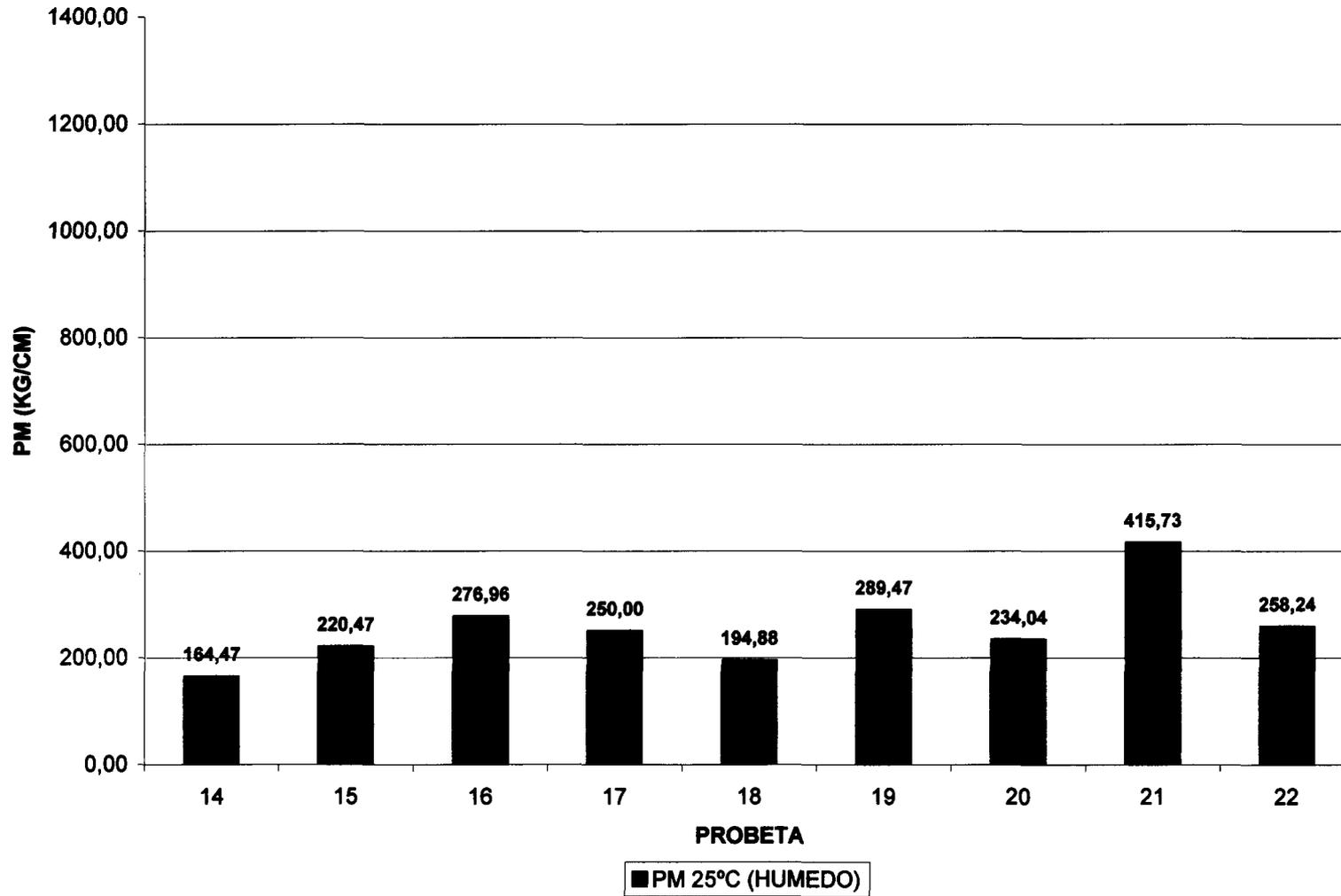
**TESTIGOS DE CAMPO  
PM 5°C Y 25°C (SECO Y HUMEDO)**



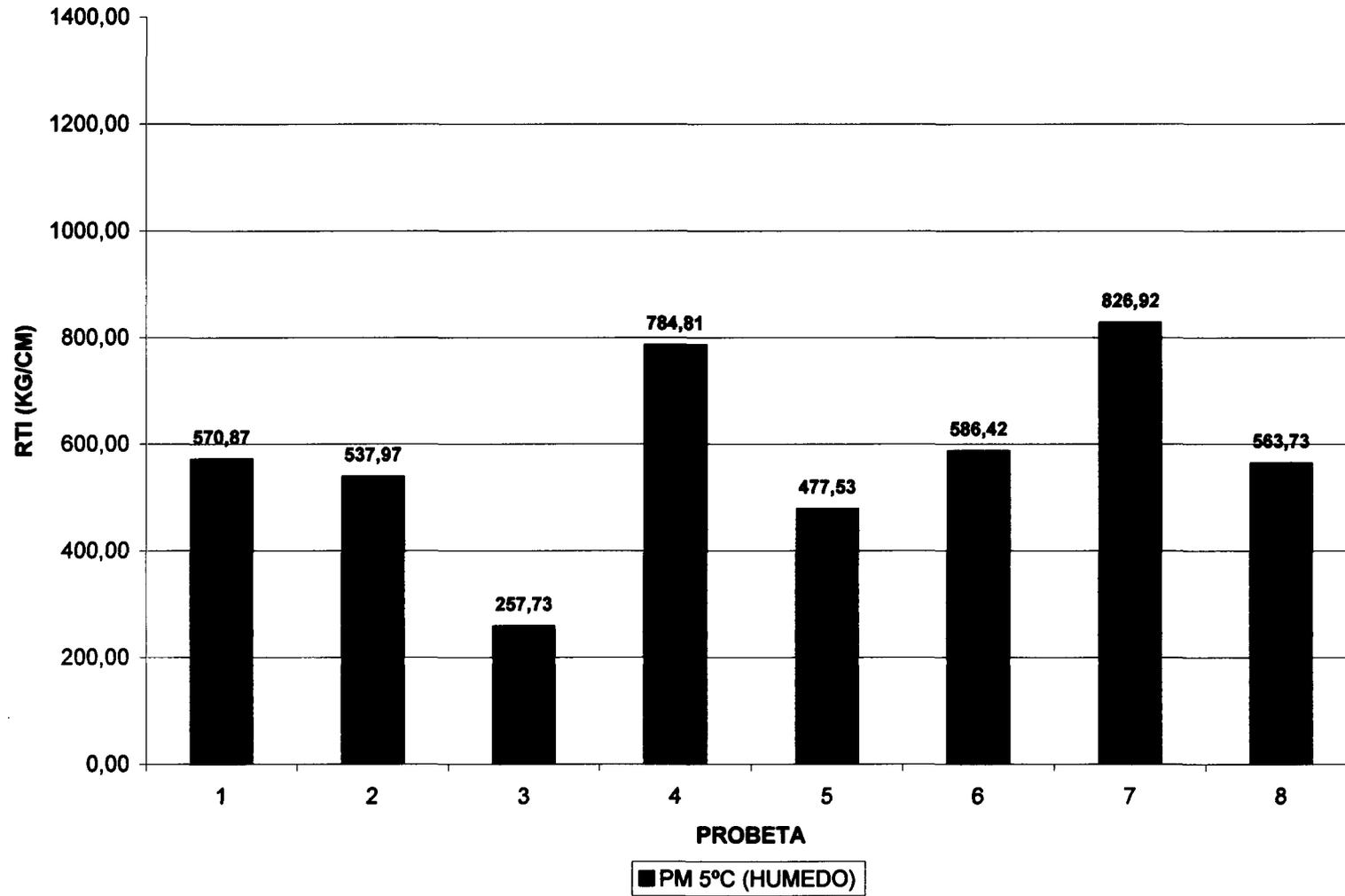
**TESTIGOS DE CAMPO  
PM 5°C (SECO)**



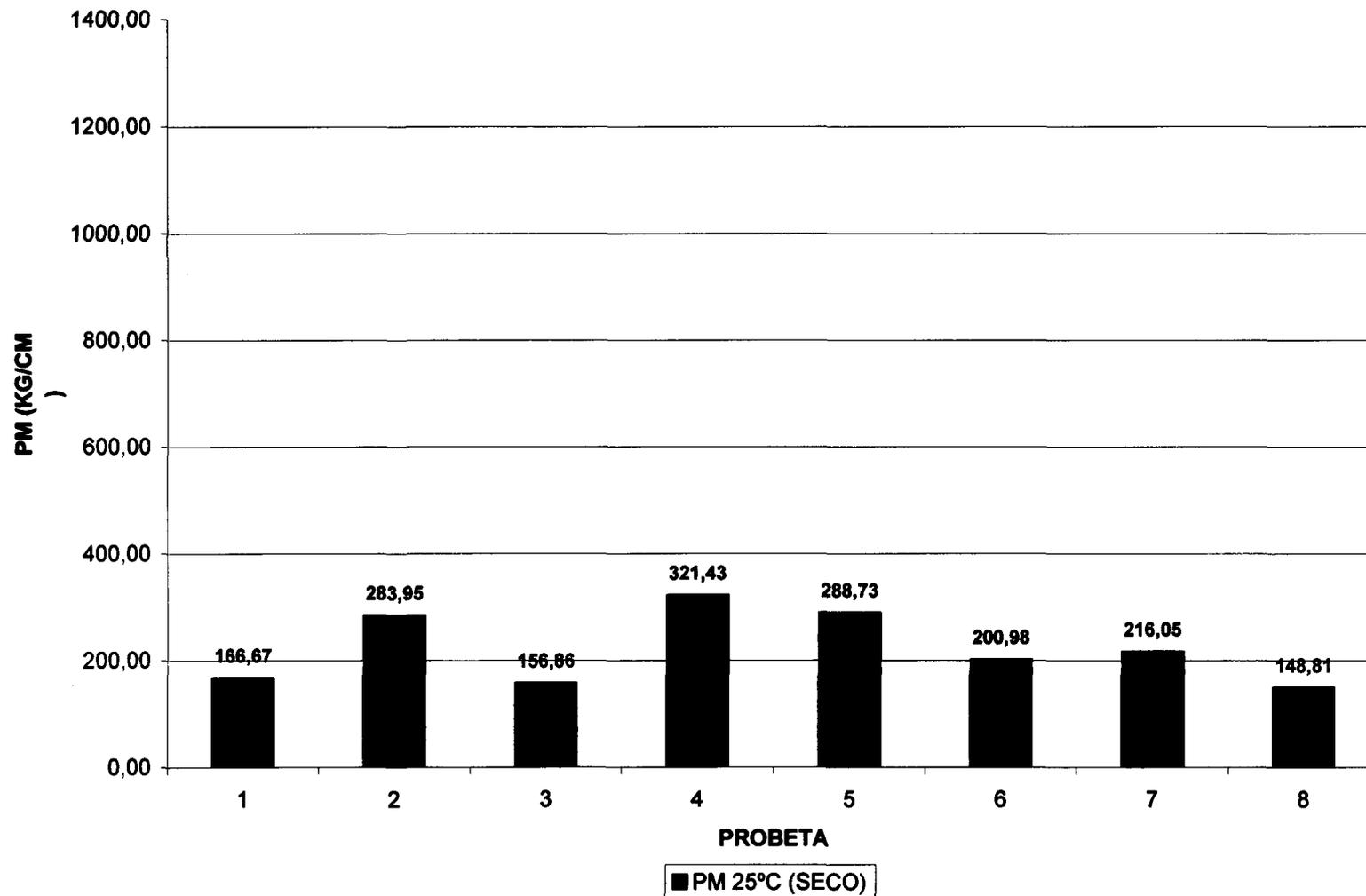
**TESTIGOS DE CAMPO  
PM 25°C (HUMEDO)**



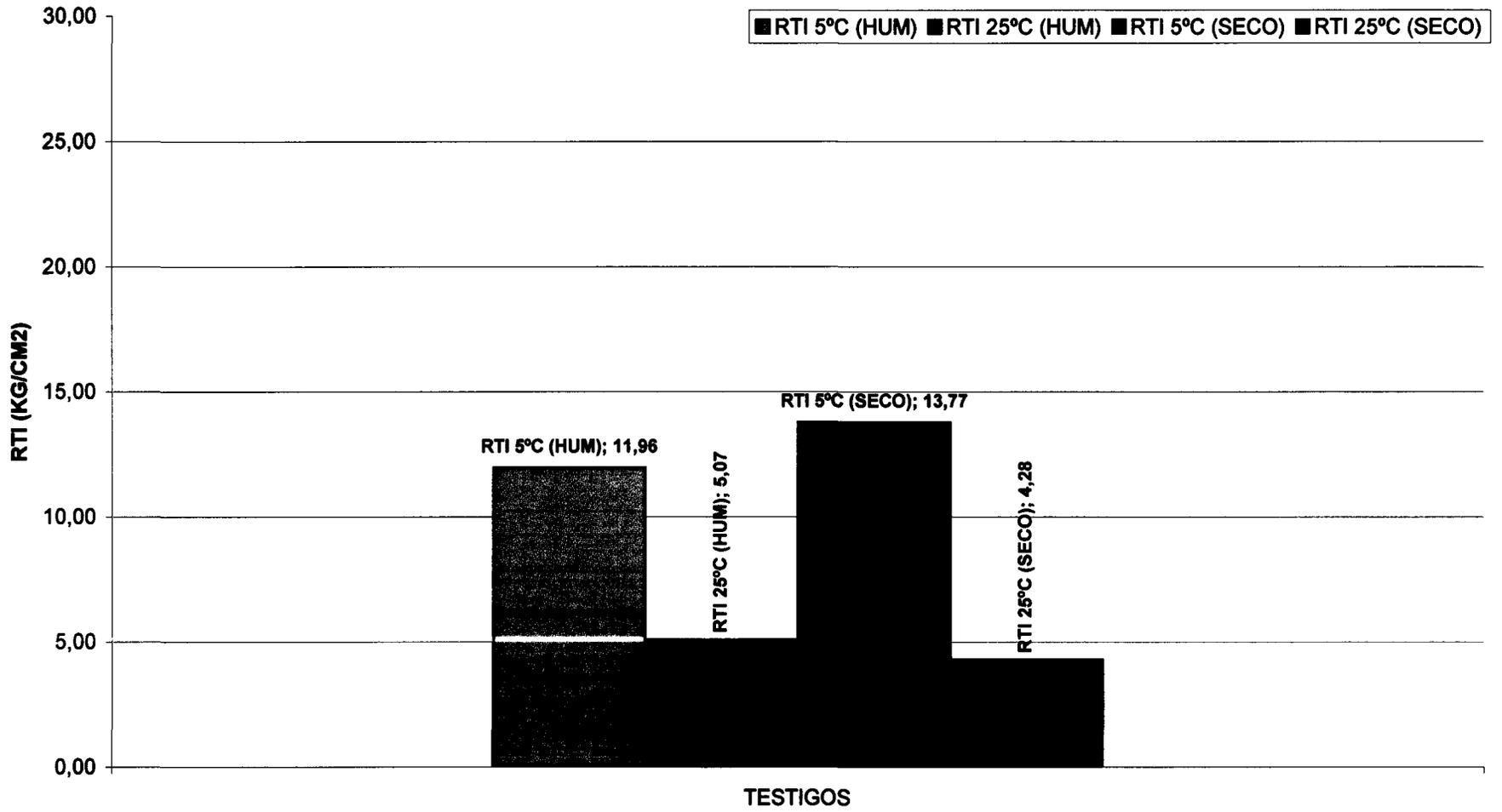
**TESTIGOS DE CAMPO  
PM 5°C (HUMEDO)**



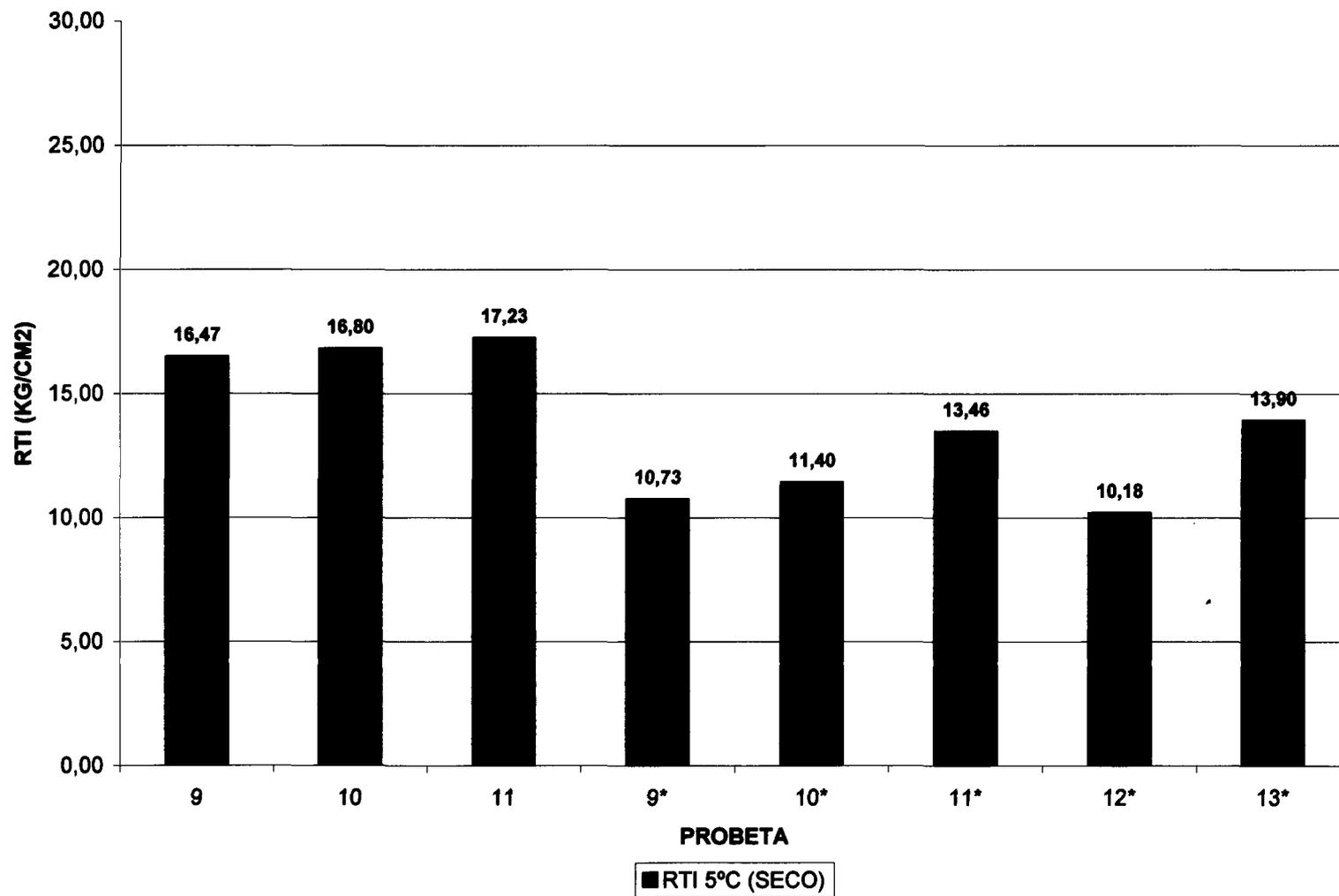
**TESTIGOS DE CAMPO  
PM 25°C (SECO)**



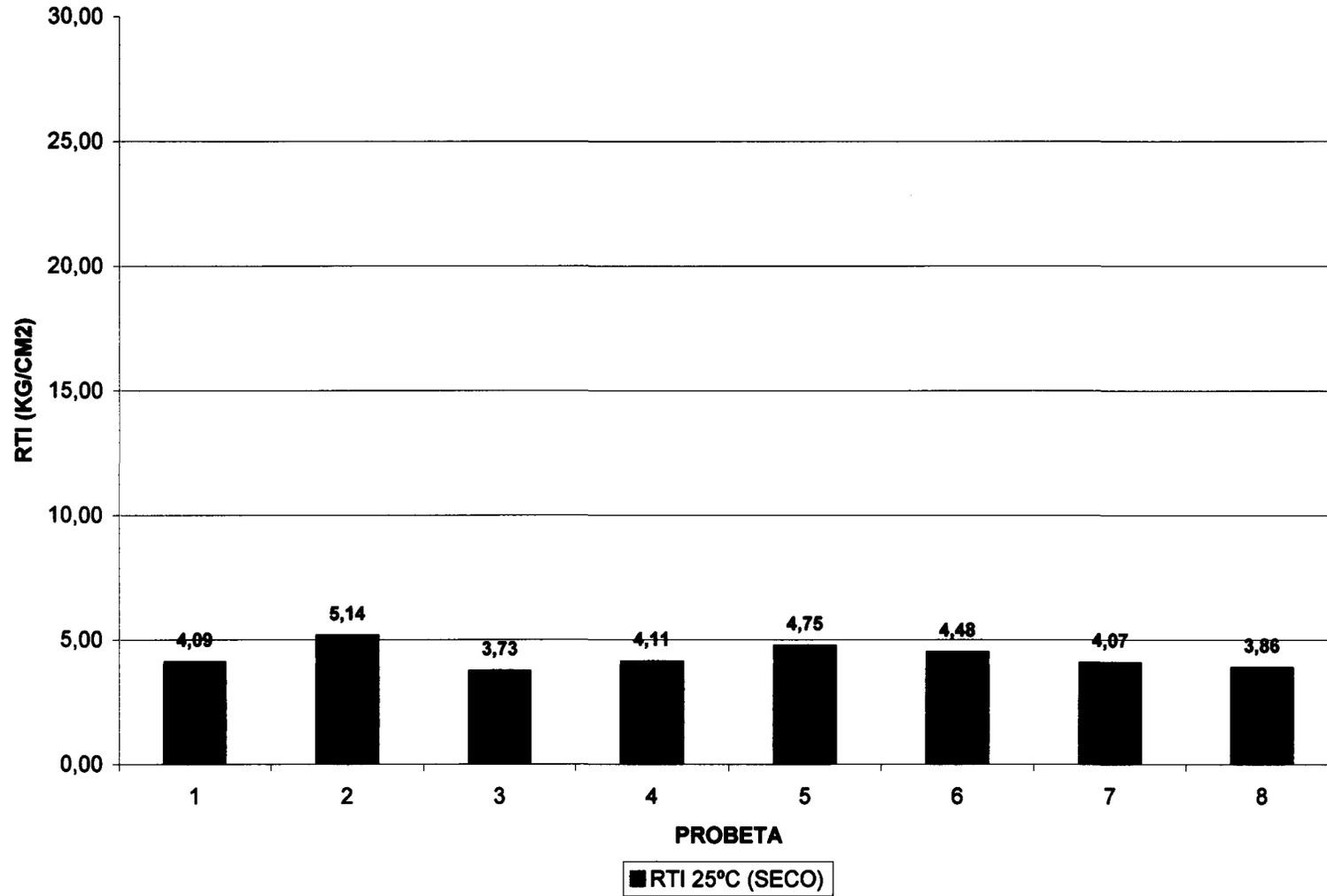
**TESTIGOS DE CAMPO  
RTI 5°C Y 25°C (SECO Y HUMEDO)**



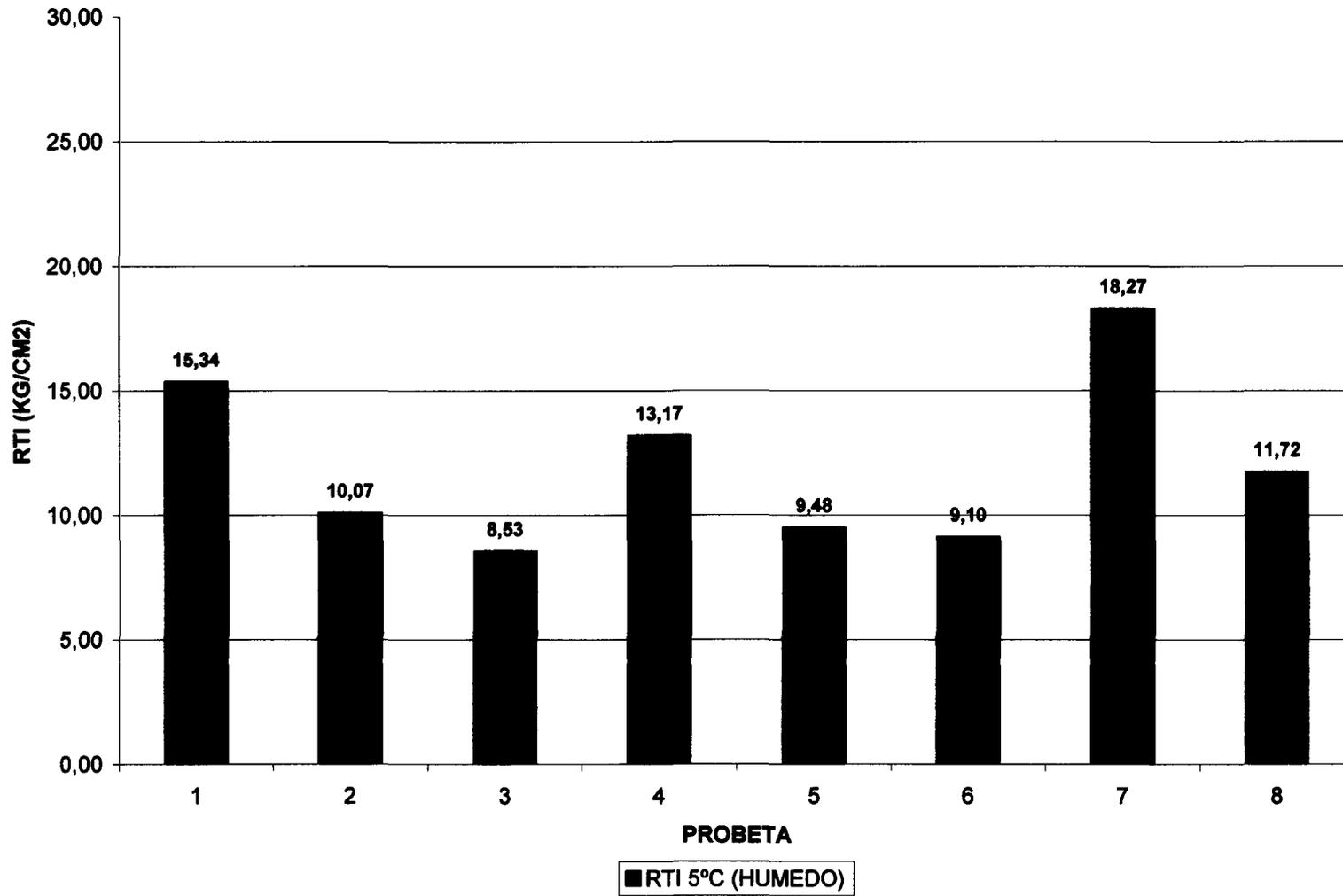
**TESTIGOS DE CAMPO  
RTI 5°C (SECO)**



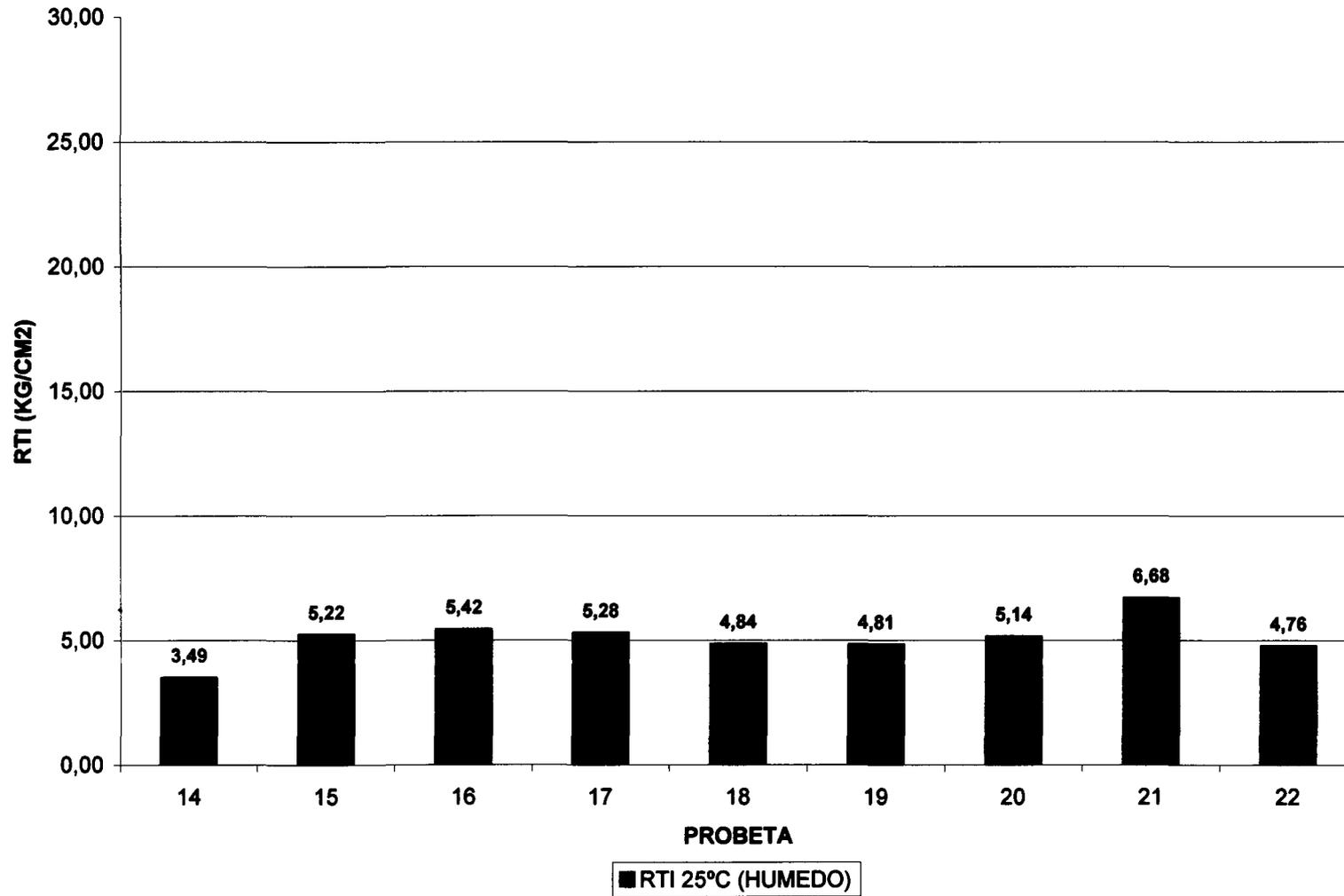
**TESTIGOS DE CAMPO  
RTI 25°C (SECO)**



**TESTIGOS DE CAMPO  
RTI 5°C (HUMEDO)**



**TESTIGOS DE CAMPO  
RTI 25°C (HUMEDO)**



**A-2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PISTA**

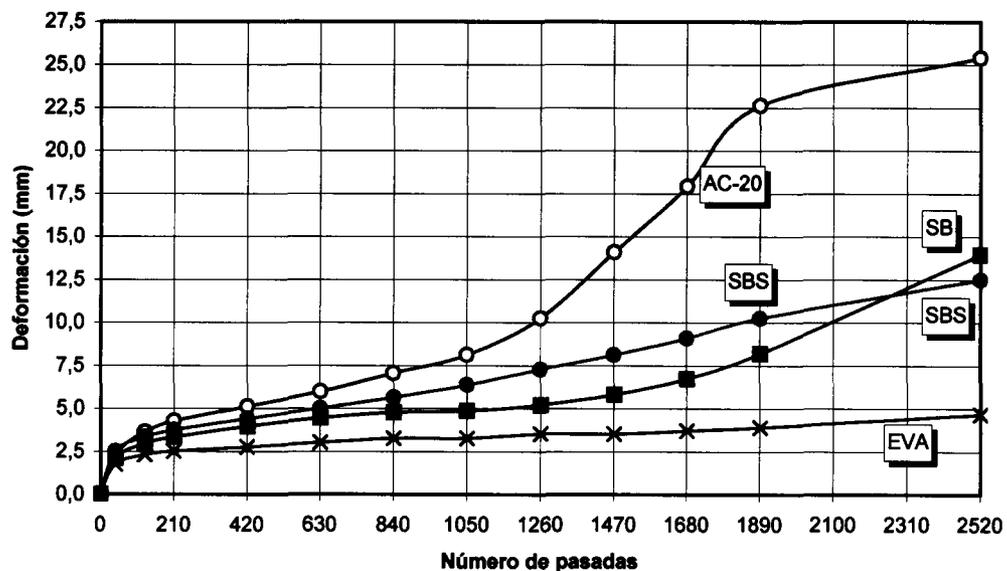
**A-2-1      RESULTADOS DE LABORATORIO**



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)			
	AC-20	SB	SBS	EVA
0	0,00	0,00	0,00	0,00
42	2,35	2,09	2,51	1,74
126	3,63	2,95	3,34	2,31
210	4,27	3,34	3,75	2,50
420	5,12	3,96	4,40	2,76
630	5,98	4,44	5,00	3,01
840	7,04	4,76	5,64	3,26
1050	8,11	4,85	6,36	3,26
1260	10,25	5,18	7,26	3,52
1470	14,09	5,80	8,11	3,52
1680	17,93	6,73	9,09	3,71
1890	22,63	8,19	10,24	3,90
2520	25,40	13,95	12,50	4,66

ENSAYOS DE LABORATORIO  
 Deformaciones plásticas permanentes  
 [4.9% CA]



Velocidad de deformación entre las 1,890 y 2520 pasadas (mm/min)	AC-20	SB	SBS	EVA	mm/min
	0,185	0,384	0,150	0,051	
plastica maxima (mm)	25,4	13,95	12,50	4,66	mm

Observaciones:

	AC-20	SB	SBS	EVA	
Densidad Sumergida Marshall:					gr/cm3
Densidad Sumergida Probeta:	2,28	2,31	2,32	2,32	gr/cm3
Densidad Aparente Marshall:					g/cm3
Densidad Aparente Probeta:	2,20	2,23	2,24	2,26	g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

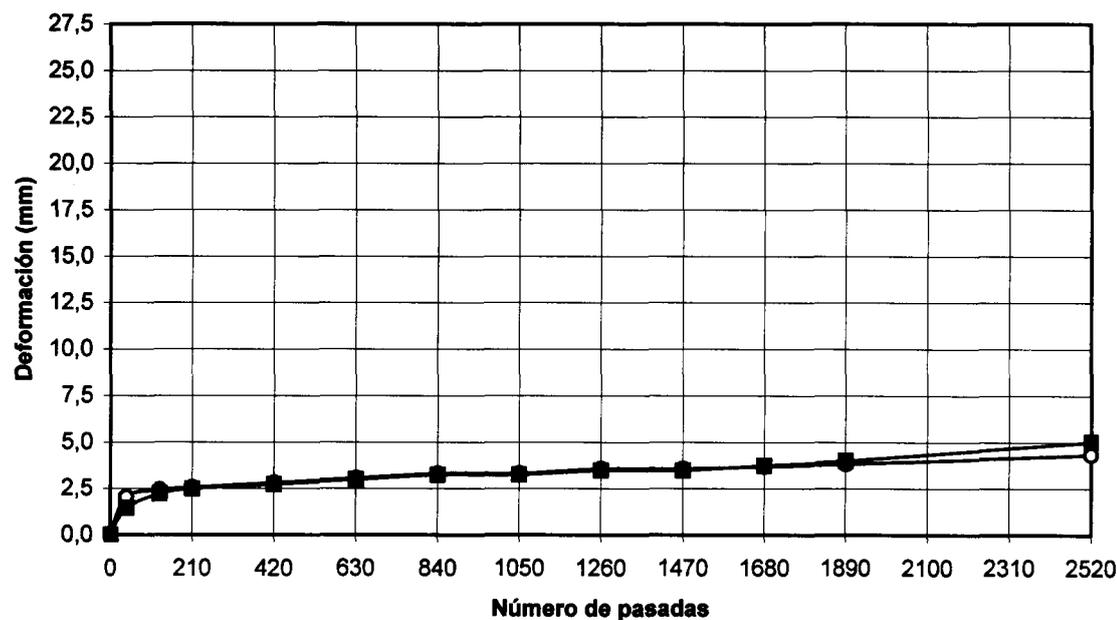
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	2,03	1,45	1,74
126	2,41	2,21	2,31
210	2,54	2,46	2,50
420	2,79	2,72	2,76
630	3,05	2,97	3,01
840	3,30	3,23	3,26
1050	3,30	3,23	3,26
1260	3,56	3,48	3,52
1470	3,56	3,48	3,52
1680	3,68	3,73	3,71
1890	3,81	3,99	3,90
2520	4,32	5,00	4,66

**Caliza-Laboratorio**  
**Deformaciones plásticas permanentes**  
 [4.9% CA AC-20+1.5 ELVALOY]



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta 0,021 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 4,7 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Sumergida Probeta: 2,34 2,30 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Marshall: g/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Probeta: 2,28 2,24 g/cm<sup>3</sup>

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

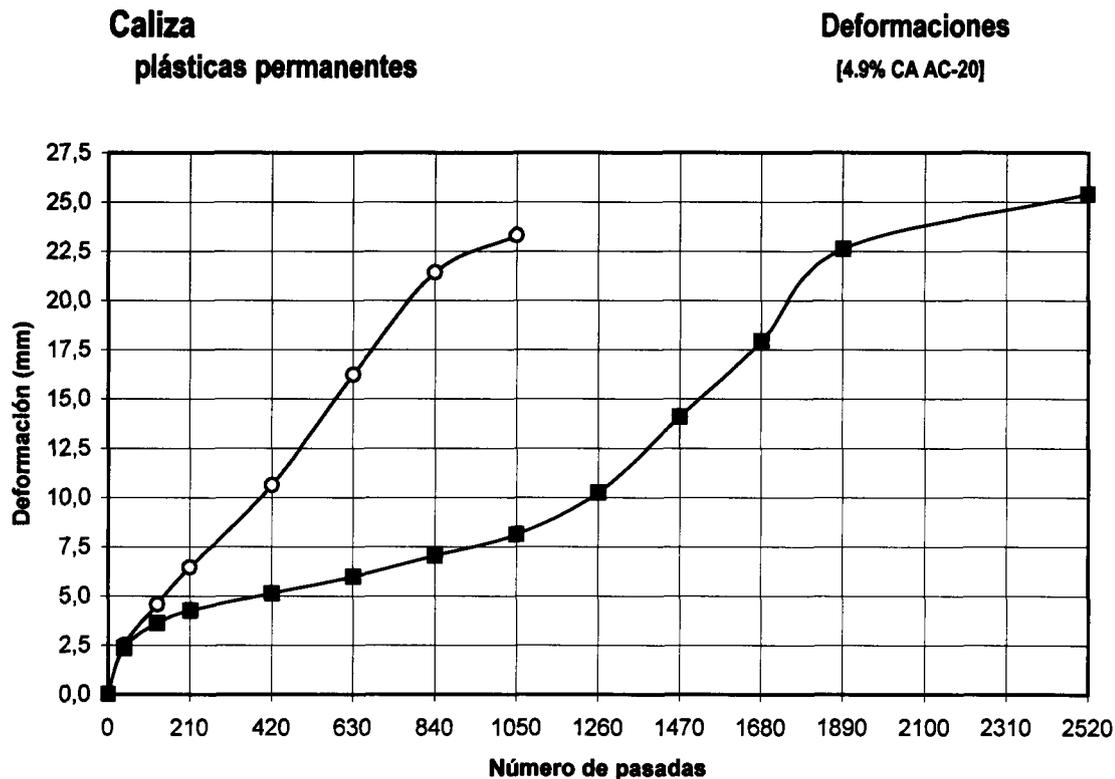
Laboratorista: Ing. José Garduño

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	2,50	2,35	2,42
126	4,58	3,63	4,10
210	6,45	4,27	5,36
420	10,61	5,12	7,87
630	16,23	5,98	11,10
840	21,43	7,04	14,24
1050	23,30	8,11	15,71
1260	0,00	10,25	-
1470	0,00	14,09	-
1680	0,00	17,93	-
1890	0,00	22,63	-
2520	0,00	25,40	-



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta #¡VALOR! mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 15,7 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm3

Densidad Sumergida Probeta: 2,27 2,29 gr/cm3

Densidad Aparente Marshall: g/cm3

Densidad Aparente Probeta: 2,20 2,20 g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

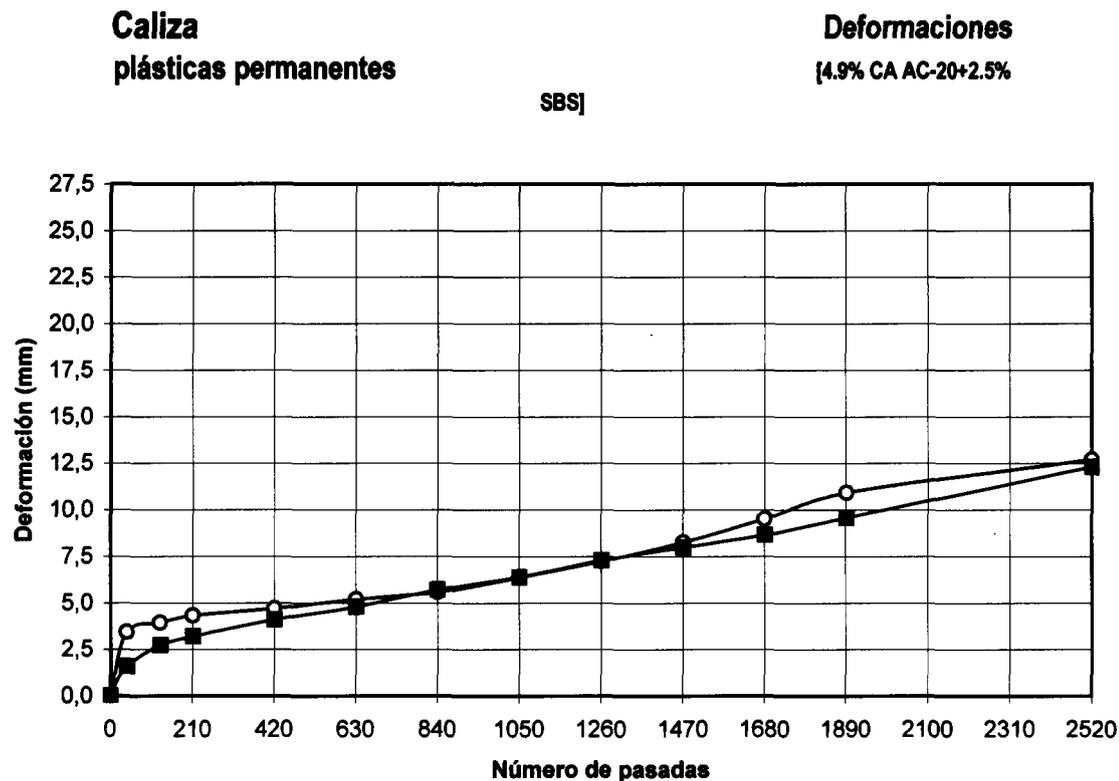
Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	3,43	1,59	2,51
126	3,94	2,73	3,34
210	4,32	3,19	3,75
420	4,70	4,10	4,40
630	5,21	4,78	5,00
840	5,59	5,69	5,64
1050	6,35	6,38	6,36
1260	7,24	7,29	7,26
1470	8,26	7,97	8,11
1680	9,53	8,66	9,09
1890	10,92	9,57	10,24
2520	12,70	12,30	12,50

Velocidad de deformación entre las 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,278 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 12,5 mm



Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm3

Densidad Sumergida Probeta: 2,35 2,29 gr/cm3

Densidad Aparente Marshall: g/cm3

Densidad Aparente Probeta: 2,28 2,21 g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

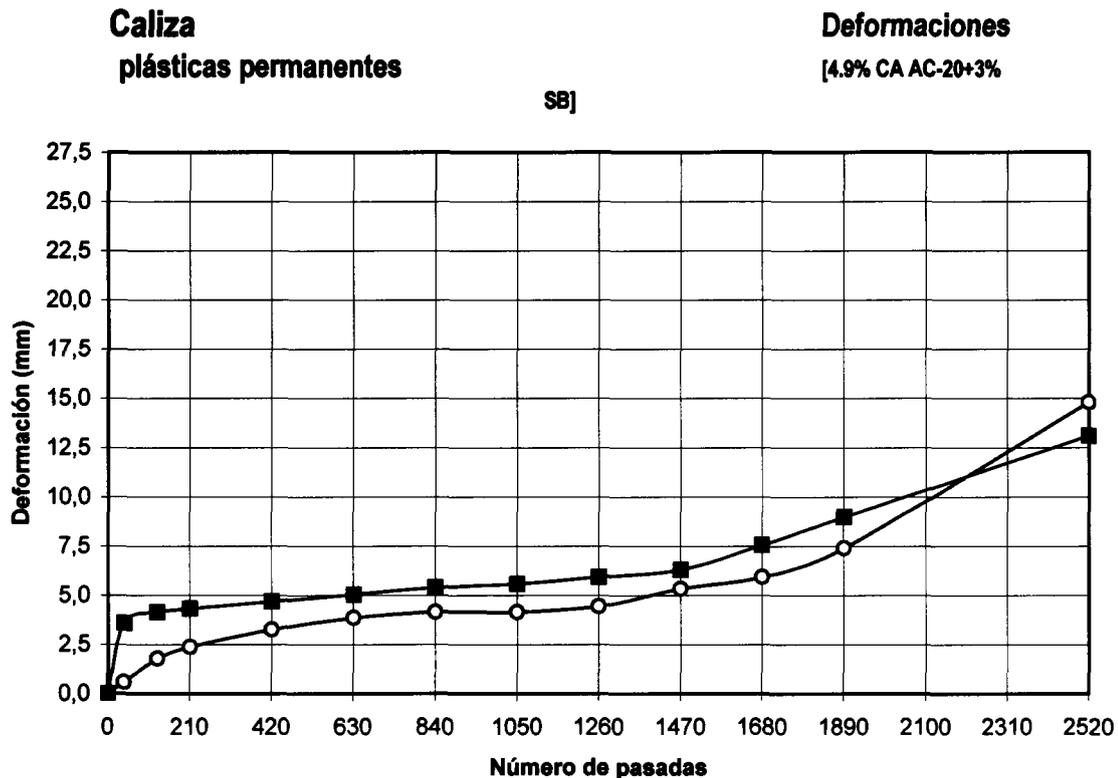
Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	0,59	3,59	2,09
126	1,78	4,13	2,95
210	2,37	4,31	3,34
420	3,26	4,67	3,96
630	3,85	5,02	4,44
840	4,14	5,38	4,76
1050	4,14	5,56	4,85
1260	4,44	5,92	5,18
1470	5,33	6,28	5,80
1680	5,92	7,54	6,73
1890	7,40	8,97	8,19
2520	14,80	13,10	13,95

Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,310 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 14,0 mm



Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm3

Densidad Sumergida Probeta: 2,33 2,30 gr/cm3

Densidad Aparente Marshall: g/cm3

Densidad Aparente Probeta: 2,25 2,20 g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

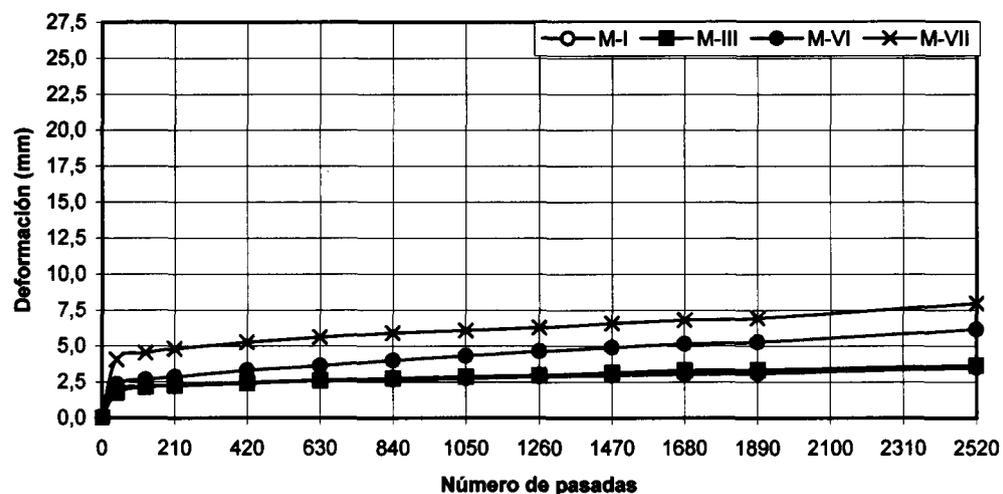
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

**A-2-2      RESULTADOS DE CAMPO LABORATORIO**



Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)			
	M-I	M-III	M-VI	M-VII
0	0,00	0,00	0,00	0,00
42	1,93	1,74	2,35	4,05
126	2,17	2,14	2,67	4,51
210	2,27	2,24	2,86	4,80
420	2,46	2,41	3,30	5,26
630	2,61	2,59	3,62	5,62
840	2,68	2,75	4,00	5,91
1050	2,77	2,86	4,32	6,08
1260	2,89	2,96	4,64	6,29
1470	2,98	3,12	4,89	6,58
1680	3,04	3,28	5,14	6,79
1890	3,10	3,33	5,27	6,93
2520	3,50	3,65	6,16	7,96

**ENSAYOS DE CAMPO**  
Deformaciones plásticas permanentes  
[4.9% CA]



Velocidad de deformación entre las 1,890 y 2520 pasadas (mm/min)	M-I	M-III	M-VI	M-VII	mm/min
	0,026	0,021	0,059	0,068	
plastica maxima (mm)	3,5	3,65	6,16	7,96	mm

Observaciones:

	M-I	M-III	M-VI	M-VII	
Densidad Sumergida Marshall:					gr/cm3
Densidad Sumergida Probeta:	2,20	2,22	2,22	2,22	gr/cm3
Densidad Aparente Marshall:					g/cm3
Densidad Aparente Probeta:	2,10	2,11	2,12	2,13	g/cm3
Frecuencia= 42 pasadas por minuto					

Laboratorista: Ing. José Garduño

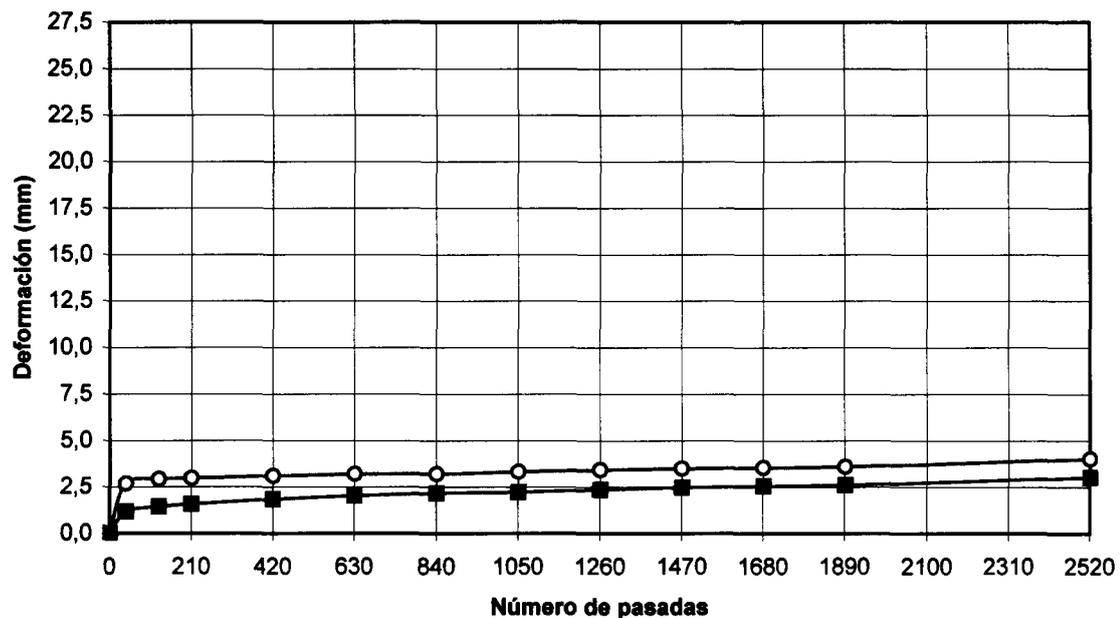
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	2,69	1,17	1,93
126	2,91	1,43	2,17
210	2,97	1,57	2,27
420	3,09	1,83	2,46
630	3,20	2,02	2,61
840	3,20	2,15	2,68
1050	3,31	2,22	2,77
1260	3,43	2,35	2,89
1470	3,49	2,48	2,98
1680	3,54	2,54	3,04
1890	3,60	2,61	3,10
2520	4,00	3,00	3,50

**Caliza-MI**  
 Deformaciones plásticas permanentes  
 [4.9% CA AC-20+1.5 ELVALOY]



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,078 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 3,5 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Sumergida Probeta: 2,22 2,19 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Marshall: g/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Probeta: 2,11 2,09 g/cm<sup>3</sup>

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

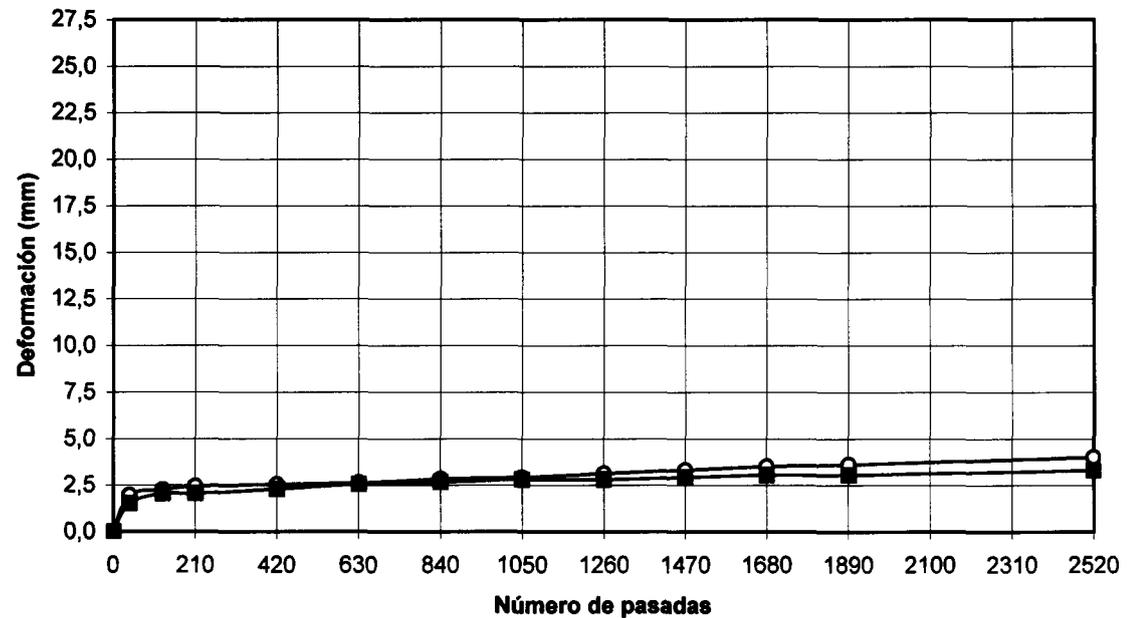
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	1,95	1,52	1,74
126	2,24	2,03	2,14
210	2,44	2,03	2,24
420	2,54	2,29	2,41
630	2,63	2,54	2,59
840	2,83	2,67	2,75
1050	2,93	2,79	2,86
1260	3,12	2,79	2,96
1470	3,32	2,92	3,12
1680	3,51	3,05	3,28
1890	3,61	3,05	3,33
2520	4,00	3,30	3,65

**Caliza-MIII**  
 Deformaciones plásticas permanentes  
 [4.9% CA AC-20+1.5 ELVALOY]



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,081 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 3,7 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Sumergida Probeta: 2,22 2,23 gr/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Marshall: g/cm<sup>3</sup>

Densidad Aparente Probeta: 2,09 2,12 g/cm<sup>3</sup>

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

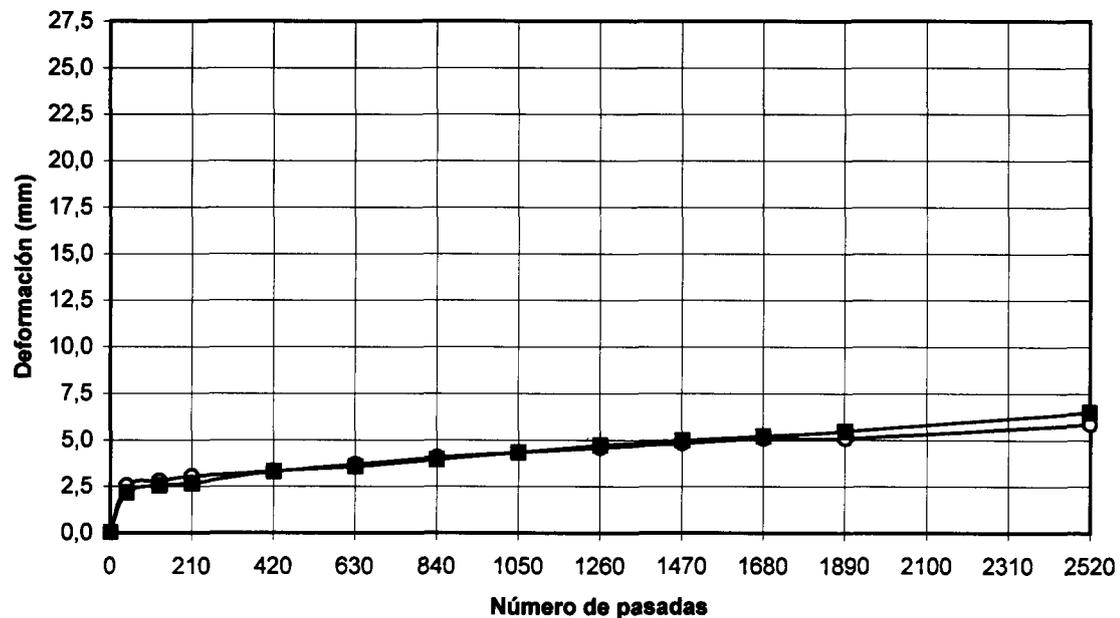
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	2,54	2,16	2,35
126	2,79	2,54	2,67
210	3,05	2,67	2,86
420	3,30	3,30	3,30
630	3,68	3,56	3,62
840	4,06	3,94	4,00
1050	4,32	4,32	4,32
1260	4,57	4,70	4,64
1470	4,83	4,95	4,89
1680	5,08	5,21	5,14
1890	5,08	5,46	5,27
2520	5,84	6,48	6,16

**Caliza- MVI**  
 Deformaciones plásticas permanentes  
 [4.9% CA AC-20+1.5 ELVALOY]



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,137 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 6,2 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm3

Densidad Sumergida Probeta: 2,24 2,20 gr/cm3

Densidad Aparente Marshall: g/cm3

Densidad Aparente Probeta: 2,13 2,11 g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

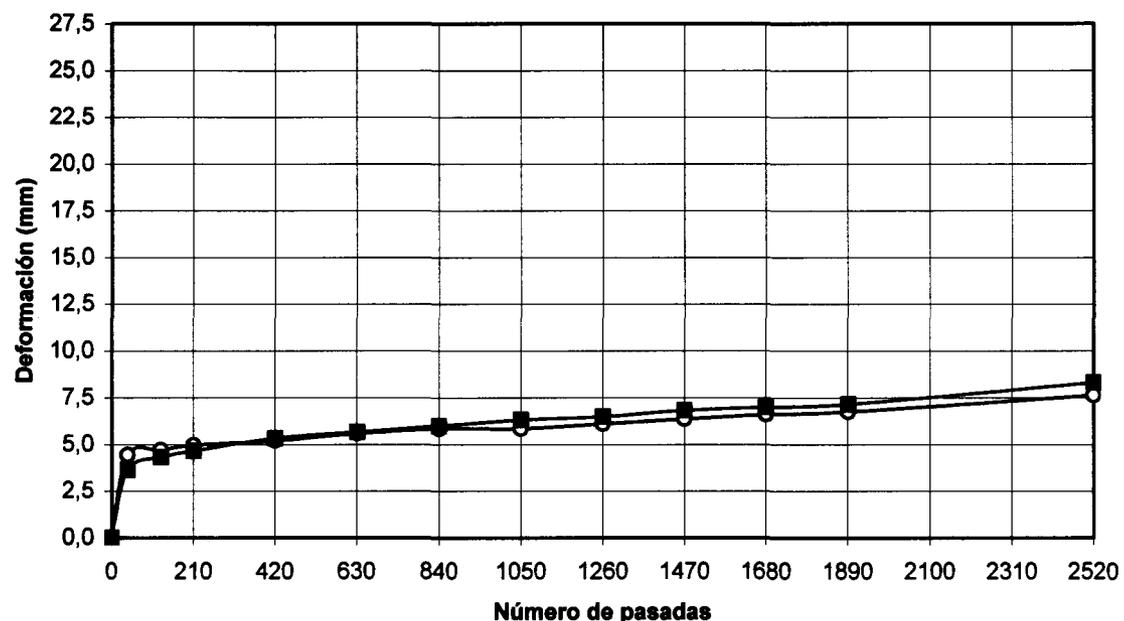
Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INFORME DE ENSAYO DE DEFORMACIONES PLASTICAS PERMANENTES

Numero de Pasadas	Deformaciones plásticas (mm)		
	Prob. 1	Prob.2	Prom
0	0	0	0
42	4,45	3,65	4,05
126	4,70	4,32	4,51
210	4,95	4,65	4,80
420	5,21	5,31	5,26
630	5,59	5,64	5,62
840	5,84	5,98	5,91
1050	5,84	6,31	6,08
1260	6,10	6,47	6,29
1470	6,35	6,81	6,58
1680	6,60	6,97	6,79
1890	6,73	7,14	6,93
2520	7,62	8,30	7,96

**Caliza- MVII**  
**Deformaciones plásticas permanentes**  
**[4.9% CA AC-20+1.5 ELVALOY ]**



Velocidad de deformación entre las  
 1,890 y 2520 pasadas

Probeta -0,177 mm/min

Deformación plástica máxima

Probeta 8,0 mm

Observaciones:

Se ensayaron dos probetas elaboradas con el contenido de cemento asfáltico del 4.9%. Temperatura de mezclado entre 170-180°C

Densidad Sumergida Marshall: gr/cm3

Densidad Sumergida Probeta: 2,22 2,23 gr/cm3

Densidad Aparente Marshall: g/cm3

Densidad Aparente Probeta: 2,13 2,12 g/cm3

Frecuencia= 42 pasadas por minuto

Laboratorista: Ing. José Garduño

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca

**A-3 GRANULOMETRIA DEL PROYECTO**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**  
**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

FORMA CA-1

**ESTUDIO DE CALIDAD DE MATERIAL PARA CARPETAS ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

OBRA: Rehabilitación del pavimento del km 22+700 al km 58+400 cuerpo izquierdo.

LOCALIZACIÓN: de la autopista Monterrey-Nuevo Laredo.\*

(CIUDAD, CAMINO, TRAMO, KILOMETRO, ORIGEN DEL CADENAMIENTO, ETC.)

ENSAYE No. Proyecto

FECHA DE RECIBO: Mayo 2004

FECHA DE INF.: Agosto de 2004

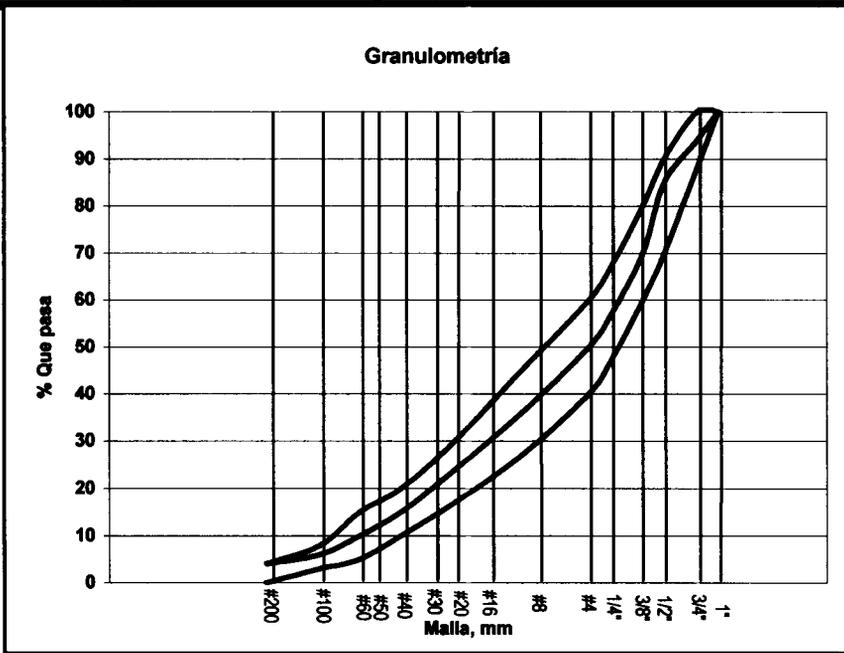
**DATOS DEL MUESTREO**  
 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Caliza de la región.  
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: Ninguno  
 TRATAMIENTO POSTERIOR AL MUESTREO: Ninguno  
 UBICACIÓN DEL BANCO DE DONDE PROCEDE EL MATERIAL PÉTREO: San Nicolás de los Garza, N.L.

PARA USARSE EN:

Mezcla Asfáltica

VIAJE No. \_\_\_\_\_ TENDIDO EN KM: \_\_\_\_\_ A KM: \_\_\_\_\_ FRANJA \_\_\_\_\_  
 TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA \_\_\_\_\_ °C EN EL TENDIDO \_\_\_\_\_

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PÉTREO	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA		
	P.E. SECO SUELTO, kg/m <sup>3</sup>	% QUE PASA	DEL PROYECTO
	MALLAS (Núm.)		
	25,0	100	100
	19,0	94,0	100-88
	12,5	85,0	90-70
	9,50	70,0	80-60
	6,35	57,0	67-47
	4,75	50,0	60-40
	2,00	36,0	45-27
	0,850	24,0	30-17
	0,425	15,0	20-10
0,250	10,0	15-5	
0,150	6,0	8-3	
0,075	4,0	4-0	
P.E. (gp), gr/cm <sup>3</sup>	2,635		
ÍNDICE PLÁSTICO %	0,0		
DESGATE LOS ÁNGELES%	12,0		
% DE TRITURACIÓN	100		
PART. ALARGADAS %	0,0		
PASA MALLA No. 200 %	1,8		
EQUIV. DE ARENA %	92,0		
CONTRACCIÓN LINEAL %	0,0		



CARACTERÍSTICA DE CALIDAD DEL MATERIAL	VALORES RECOMENDADOS DESEABLE	ADECUADA
Tamaño Máximo Agreg. (mm)	38	38
Pasa Malla #200 (%)	0 - 4 máx	0 - 8 máx
Humedad Natural (%)	0	1 máx.
Índice Plástico (%)	0	5 máx.
Equivalente de arena (%)	60 mín	55 mín
Partículas Alargadas (%)	25 mín	50 mín
Desgaste de los Ángeles (%)	30 máx	30 máx

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	ESPECIFICACIÓN

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO
TIPO: AC-20+1.5 EVA + 0.3 AP
PENETRACIÓN: 43 dmm
VISCOSIDAD
PESO ESPECÍFICO: 1.027 g/cm <sup>3</sup>
REBALN. A&B: 63 °C
TEMP. RECOM.: 175 °C
TEMP. DE APLIC.: 125 °C

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

Contenido de asfalto 4.9%

EL LABORATORISTA  
 \_\_\_\_\_  
 Ing. José Garduño P.

EL JEFE DE LABORATORIO  
 \_\_\_\_\_  
 Ing. José Garduño P.

Vo. Bo.  
 \_\_\_\_\_  
 Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez

## **A-4 CARACTERIZACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS**



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

INFORME DE CONSOLIDACIÓN

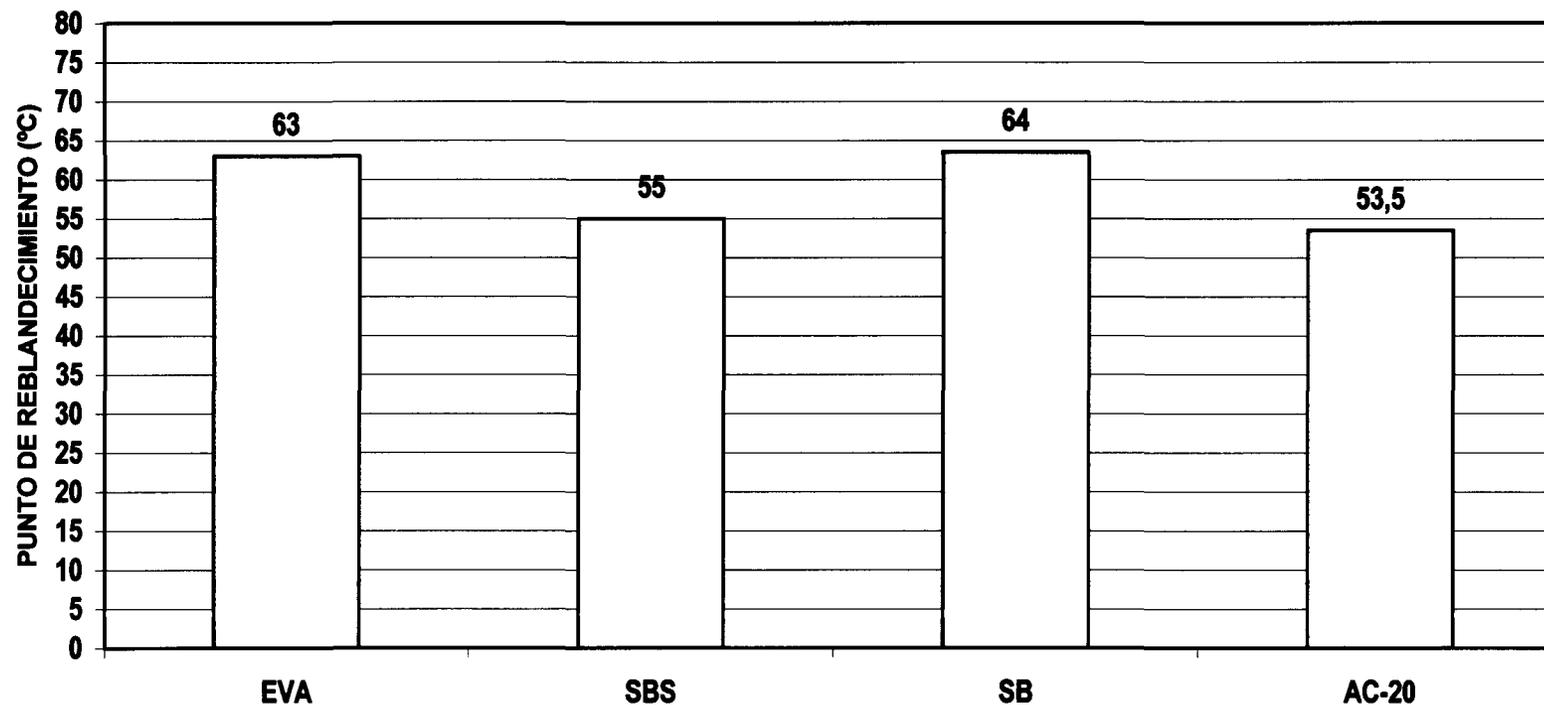
RESULTADOS DE  
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO  
ANILLO Y BOLA EN AGUA

OBRA:

CEMENTO ASFÁLTICO TIPO: TODOS

FECHA: ABRIL/2005

## REOLOGÍA



Observaciones:

Laboratorista: Ing. José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

**LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS**

**INFORME DE CONSOLIDACIÓN**

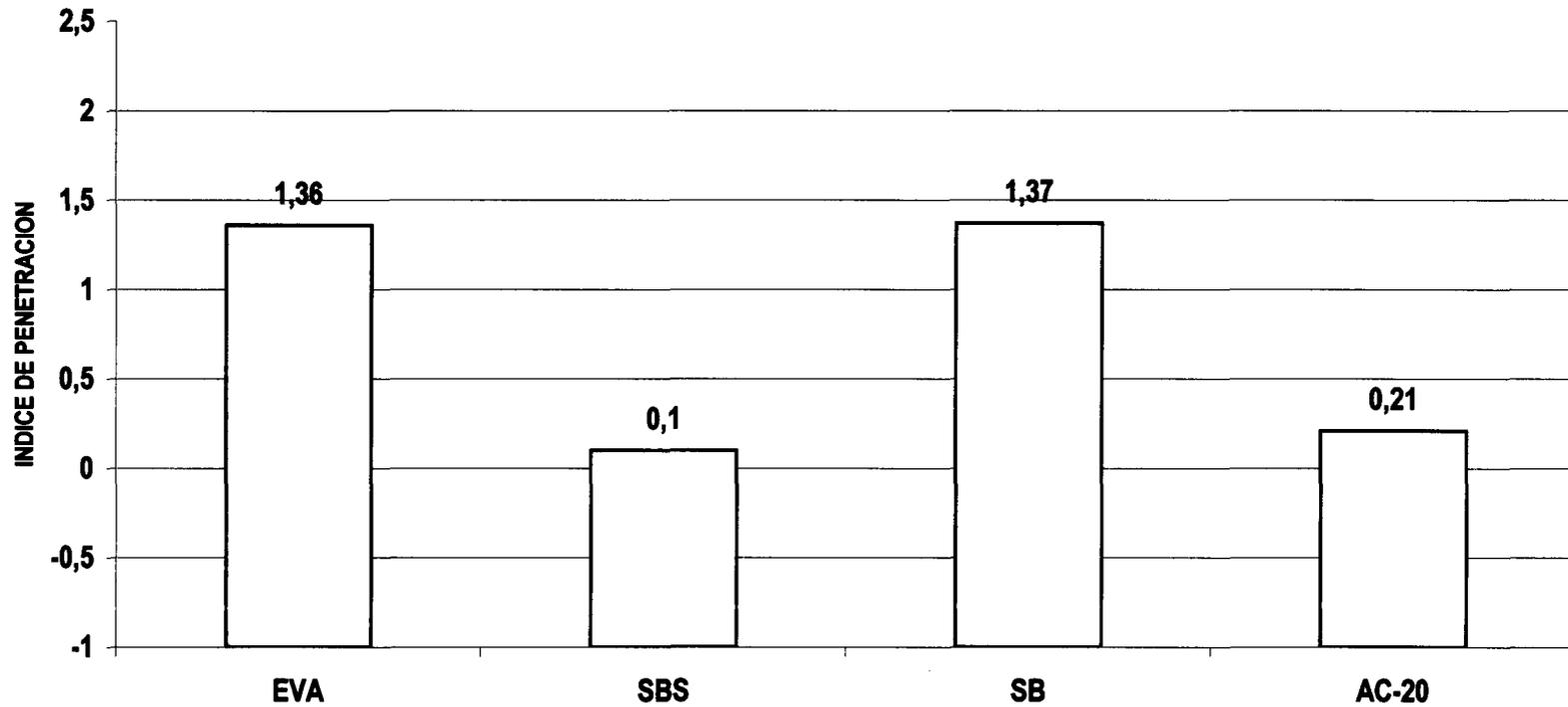
**RESULTADOS DE  
INDICE DE PENETRACION  
A 25 °C, 100 gr. 5 Seg.**

OBRA:

CEMENTO ASFÁLTICO TIPO: TODOS

FECHA: ABRIL/2005

## REOLOGÍA



Observaciones:

Cemento asfáltico base AC-20 SALAMANCA

Interpretacion:

IP < -1: Betunes con mayor susceptibilidad a la temperatura con comportamiento algo viscoso

IP > +1 : Son Betunes con poca susceptibilidad a la temperatura, presentado elasticidad y trixotropia

IP entre +1 y -1: Comportamiento intermedio entre los anteriores, recomendados para carreteras

Laboratorista: Ing. José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
LABORATORIO DE MATERIALES ASFÁLTICOS  
INFORME DE CONSOLIDACIÓN

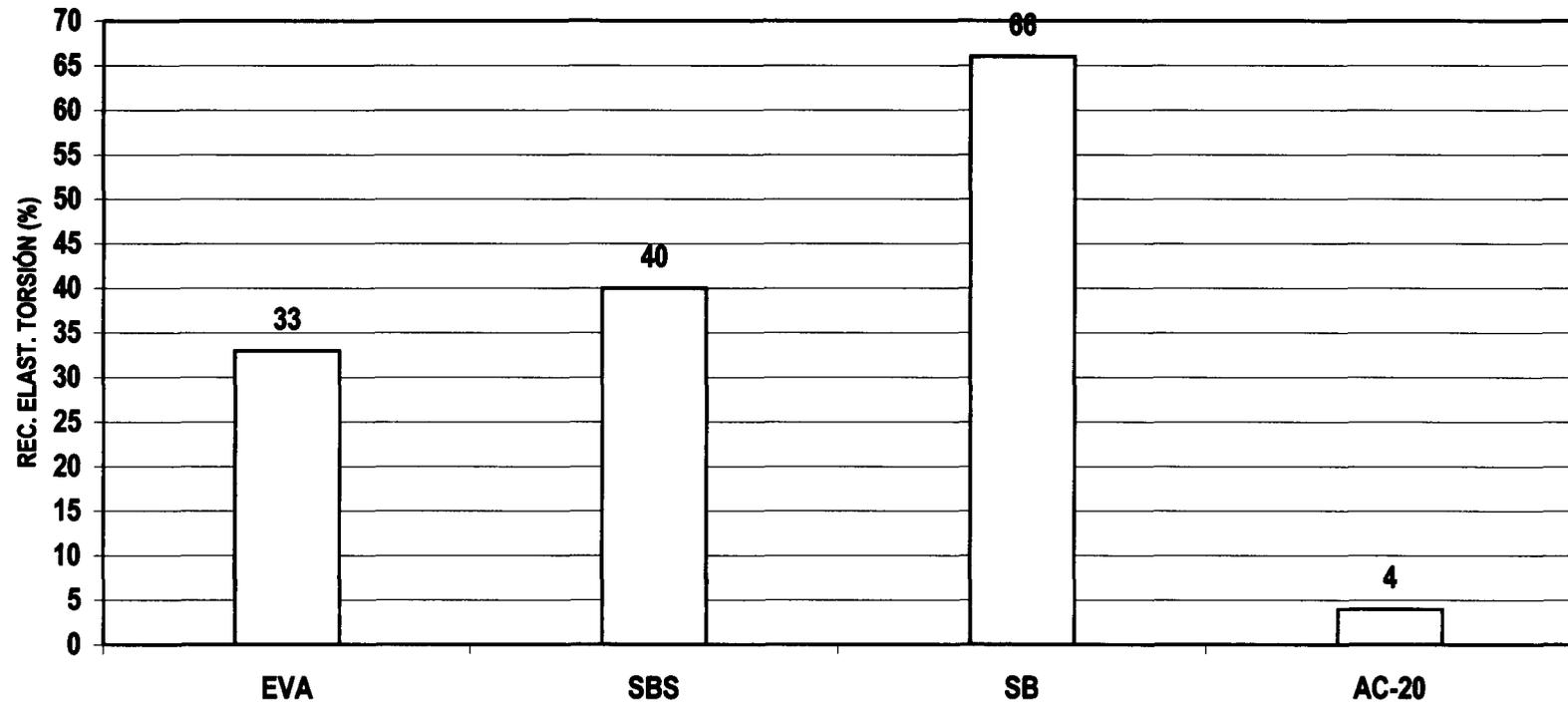
RESULTADOS DE  
RECUPERACION ELASTICA POR  
TORSION A 25°C

OBRA:

CEMENTO ASFÁLTICO TIPO: TODOS

FECHA: ABRIL/2005

## REOLOGÍA



Observaciones:

Norma de referencia; N-CMT-4-05-002/01 ( 20/08/01)

Laboratorista: Ing. José Garduño P.

Revisó: Dr. Carlos H. Fonseca



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
ÁREA DE VÍAS TERRESTRES Y TRANSPORTES**



**CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS AC-20 Y MODIFICADOS**

<b>Cem. Asfáltico Tipo:</b> <u>AC-20</u>	<b>Modificado tipo :</b> _____	<b>FECHA:</b> <u>abr-05</u>
<b>Procedente:</b> <u>CADEREYTA</u>		
<b>Nombre comercial:</b> <u>AC-20</u>	<b>Fabricante:</b> <u>PEMEX</u>	

Características	Del cemento asfáltico convencional o modificado original			
	Norma	Medición	Limite	Observaciones
Viscos. Rotac. Brookfield a 135°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	4 máx.	Cumple
Viscos. Rot. Brookfield (tipo Haake) a 170°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	—	
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; dmm	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	63	40 mín	Cumple
Punto de reblandecimiento; °C	ASTM D36-95 (M-MMP-4-05-009)	53,5	53 mín	Cumple
Índice de penetración	NTL-181/88	0,21		
Separación, diferencia anillo y esfera; °C	ASTM D36-89 (M-MMP-4-05-009)	N/A	4 máx	Cumple
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %	NLT-329 (M-MMP-4-05-024)	4,0	15 mín	No cumple
Densidad	ASTM D 70-97	1,030		Cumple
Punto de inflamación Cleveland; °C	NOM L-25	>230	230 mín	
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C	AASHTO T301-95 (M-MMP-4-05-026)	2,0		
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm	NOM C-135	110		

**Del residuo de la prueba de la película delgada,(3,2 mm, 50 g):**

Características	Del cemento asfáltico modificado:			
	Norma	Medición	Limite	Observaciones
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	ASTM D1754-97 (M-MMP-4-05-010)	0.92	1 máx	Cumple
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm.	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	46		
Penetración retenida, %				

**Comentarios:**

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo. Bo.
Ing. Jose Garduño Pérez	Ing. Jose Garduño Pérez	Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
ÁREA DE VÍAS TERRESTRES Y TRANSPORTES**



**CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS AC-20 Y MODIFICADOS**

<b>Cem. Asfáltico Tipo:</b> <u>AC-20+Pol.</u>	<b>Modificado tipo :</b> <u>3% SB</u>	<b>FECHA:</b> <u>abr-05</u>
<b>Procedente:</b> <u>CADEREYTA</u>		
<b>Nombre comercial:</b> <u>SB</u>	<b>Fabricante:</b> <u>KOCH/PEMEX</u>	

Características	Del cemento asfáltico convencional o modificado original			
	Norma	Medición	Limite	Observaciones
Viscos. Rotac. Brookfield a 135°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	4 máx.	Cumple
Viscos. Rot. Brookfield (tipo Haake) a 170°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	-	
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; dmm	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	43	40 mín	Cumple
Punto de reblandecimiento; °C	ASTM D36-95 (M-MMP-4-05-009)	63,5	53 mín	Cumple
Índice de penetración	NTL-181/88	1,37		
Separación, diferencia anillo y esfera; °C	ASTM D36-89 (M-MMP-4-05-009)	N/A	4 máx	Cumple
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %	NLT-329 (M-MMP-4-05-024)	66,0	15 mín	No cumple
Densidad	ASTM D 70-97	1,025		Cumple
Punto de inflamación Cleveland; °C	NOM L-25	>230	230 mín	
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C	AASHTO T301-95 (M-MMP-4-05-026)	87,0		
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm	NOM C-135	79		

**Del residuo de la prueba de la película delgada,(3,2 mm, 50 g):**

Características	Del cemento asfáltico modificado:			
	Norma	Medición	Limite	Observaciones
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	ASTM D1754-97 (M-MMP-4-05-010)	0.66	1 máx	Cumple
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm,	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	27		
Penetración retenida, %				

**Comentarios:**

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo. Bo.
Ing. Jose Garduño Pérez	Ing. Jose Garduño Pérez	Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
ÁREA DE VÍAS TERRESTRES Y TRANSPORTES**



**CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS AC-20 Y MODIFICADOS**

<b>Cem. Asfáltico Tipo:</b> <u>AC-20+ Pol.</u>	<b>Modificado tipo :</b> <u>2.5% SBS</u>	<b>FECHA:</b>	<u>abr-05</u>
<b>Procedente:</b> <u>CADEREYTA</u>			
<b>Nombre comercial:</b> <u>SEALOFLEX TIPO II</u>	<b>Fabricante:</b> <u>ERPRO/PEMEX</u>		

Características	Del cemento asfáltico convencional o modificado original			
	Norma	Medición	Límite	Observaciones
Viscos. Rotac. Brookfield a 135°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	4 máx.	Cumple
Viscos. Rot. Brookfield (tipo Haake) a 170°C; Pa*s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	--	
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; dmm	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	52	40 mín	Cumple
Punto de reblandecimiento; °C	ASTM D36-95 (M-MMP-4-05-009)	55	53 mín	Cumple
Índice de penetración	NTL-181/88	0,1		
Separación, diferencia anillo y esfera; °C	ASTM D36-89 (M-MMP-4-05-009)	N/A	4 máx	Cumple
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %	NLT-329 (M-MMP-4-05-024)	40,0	15 mín	No cumple
Densidad	ASTM D 70-97	1,027		Cumple
Punto de inflamación Cleveland; °C	NOM L-25	>230	230 mín	
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C	AASHTO T301-95 (M-MMP-4-05-026)	70,0		
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm	NOM C-135	60		

**Del residuo de la prueba de la película delgada,(3,2 mm, 50 g):**

Características	Del cemento asfáltico modificado:			
	Norma	Medición	Límite	Observaciones
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	ASTM D1754-97 (M-MMP-4-05-010)	.87	1 máx	Cumple
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm,	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	31		
Penetración retenida, %				

**Comentarios:**

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo. Bo.
Ing. Jose Garduño Pérez	Ing. Jose Garduño Pérez	Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez



**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
ÁREA DE VÍAS TERRESTRES Y TRANSPORTES**



**CARACTERIZACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS AC-20 Y MODIFICADOS**

<b>Cem. Asfáltico Tipo:</b> <u>AC-20+ Pol.</u>	<b>Modificado tipo :</b> <u>1.5% EVA + 0.3 AP</u>	<b>FECHA:</b> <u>abr-05</u>
<b>Procedente:</b> <u>CADEREYTA</u>		
<b>Nombre comercial:</b> <u>ELVALOY</u>	<b>Fabricante:</b> <u>DUPONT/PEMEX</u>	

Características	Del cemento asfáltico convencional o modificado original			
	Norma	Medición	Límite	Observaciones
Viscos. Rotac. Brookfield a 135°C; Pa×s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	4 máx.	Cumple
Viscos. Rot. Brookfield (tipo Haake) a 170°C; Pa×s (P)	ASTM D44-02 (M-MMP-4-05-005)	N/A	--	
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; dmm	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	43	40 mín	Cumple
Punto de reblandecimiento; °C	ASTM D36-95 (M-MMP-4-05-009)	63,0	53 mín	Cumple
Índice de penetración	NTL-181/88	1,36		
Separación, diferencia anillo y esfera; °C	ASTM D36-89 (M-MMP-4-05-009)	N/A	4 máx	Cumple
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %	NLT-329 (M-MMP-4-05-024)	33,0	15 mín	No cumple
Densidad	ASTM D 70-97	1,028		Cumple
Punto de inflamación Cleveland; °C	NOM L-25	>230	230 mín	
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C	AASHTO T301-95 (M-MMP-4-05-026)	60,0		Fallo prueba
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm	NOM C-135	40		

**Del residuo de la prueba de la película delgada,(3,2 mm, 50 g):**

Características	Del cemento asfáltico modificado:			
	Norma	Medición	Límite	Observaciones
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	ASTM D1754-97 (M-MMP-4-05-010)	.9	1 máx	Cumple
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm,	ASTM D5-97 (M-MMP-4-05-006)	33		
Penetración retenida, %				

**Comentarios:**

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo. Bo.
Ing. Jose Garduño Pérez	Ing. Jose Garduño Pérez	Dr. Carlos H. Fonseca Rodríguez

Centro de Información-Biblioteca



30002006509906