



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:
EVALUACIÓN DE MUESTRAS ASFÁLTICAS CON PRUEBAS
SIMPLES PARA EL CONTROL DE CALIDAD**

**AUTOR:
TERÁN OLMEDO, JULIO MIGUEL**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO
DE:
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:
DR. VILA ROMANÍ, ROLANDO**

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA:INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Julio Miguel Terán Olmedo**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Dr. Rolando Vila Romani

REVISOR

Ing. Gustavo García Caputi

Lcda. Sonia Baños Pazmiño

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas

Guayaquil, a los 12 días del mes de Agosto del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Julio Miguel Terán Olmedo

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **EVALUACIÓN DE MUESTRAS ASFÁLTICAS CON PRUEBAS SIMPLES PARA EL CONTROL DE CALIDAD** previa a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 días del mes de Agosto del año 2013

EL AUTOR

Julio Miguel Terán Olmedo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Julio Miguel Terán Olmedo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **EVALUACIÓN DE MUESTRAS ASFÁLTICAS CON PRUEBAS SIMPLES PARA EL CONTROL DE CALIDAD**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 días del mes de Agosto del año 2013

EL AUTOR:

Julio Miguel Terán Olmedo

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a mi director de tesis, Dr. Rolando Vila por la oportunidad de compartir esta investigación y el tiempo que le ha dedicado a esta. Su interés en desarrollar este proyecto y los conocimientos compartidos.

Al laboratorio de suelos y asfalto de la compañía Hidalgo e Hidalgo y a su jefe el Sr. Napoleón Aulestiza Narváes por la ayuda e interés de este trabajo.

A mi familia y amigos por su apoyo y su aliento en llevar a cabo esta investigación.

JULIO MIGUEL TERÁN OLMEDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Rolando Vila Romaní
PROFESOR GUÍA O TUTOR

Ing Gustavo García Caputi
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

**Dr. Rolando Vila Romani
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR**

Índice General

1. Introducción.....	13
1.1 Generalidades.....	13
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Objetivos.....	16
1.4 Alcance.....	16
2. Capítulos.....	17
2.1 Pruebas simples para evaluar la calidad de las mezclas asfálticas.....	17
2.1.1 Propiedades de interés.....	17
2.1.2 Evaluación de la resistencia a la deformación.....	18
2.1.2.1 Prueba Marshall.....	18
2.1.2.2 Compresión sin confinamiento lateral.....	21
2.1.3 Evaluación de la resistencia a la fisuración.....	24
2.1.3.1 Tracción indirecta.....	24
2.1.3.2 Flexión Semicircular.....	26
2.2 Desarrollo experimental.....	28
2.2.1 Organización del trabajo experimental.....	28
2.2.2 Análisis de las mezclas asfálticas empleadas.....	31
2.2.3 Resultados obtenidos parte # 1.....	36
2.2.4 Resultados obtenidos parte # 2.....	45
2.3 Análisis de resultados.....	51
2.3.1 Análisis de los resultados de la parte # 1.....	51
2.3.2 Análisis de resultados de la parte # 2.....	52
3. Conclusiones y recomendaciones.....	54
3.1 Conclusiones.....	54
3.2 Recomendaciones.....	55
4. Referencias bibliográficas.....	56
5. Anexos.....	57

Índice de Tablas y Cuadros

1. TABLA 1. FACTORES DE CORRELACIÓN DE ESTABILIDAD.....	20
2. TABLA 2. ENSAYOS $t=0,05$ mm/min.mm.....	28
3. TABLA 3. ENSAYOS $t=0,5$ mm/min.mm.....	29
4. TABLA 4. ENSAYO $t= 0,05$ mm/min.mm.....	29
5. TABLA 5. ENSAYO $t= 0,5$ mm/min.mm MTOP.....	30
6. CUADRO 1. CHEQUEO GRANULOMÉTRICO EN AGREGADOS EXTRAÍDOS.....	31
7. CUADRO 2. CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN BRIQUETA.....	33
8. CUADRO 3. CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN CILINDROS	34
9. CUADRO 4. RESULTADO PARA ESTABILIDAD MARHALL.....	36
10. CUADRO 5. RESULTADO PARA COMPRESION SIMPLE SIN CONFINAMIENTO LATERAL.....	36
11. CUADRO 6. RESULTADOS PARA LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	37
12. CUADRO 7. RESULTADOS PARA LA FLEXIÓN SEMICIRCULAR.....	38
13. CUADRO 8. ESTABILIDAD MARSHALL PARA $T= 60^{\circ}\text{C}$ - $t= 0,05$ y $0,5$ mm/min.mm.....	40
14. CUADRO 9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE PARA $T=$ 60°C - $t= 0,05$ y $0,5$ mm/min.mm.....	41
15. CUADRO 10. TRACCION INDIRECTA PARA $T=25^{\circ}\text{C}$, 60°C - $t=0,05$ y $0,5$ mm/min.mm.....	42
16. CUADRO 11. FLEXIÓN SEMICIRCULAR PARA $T=25^{\circ}\text{C}$, 60°C - $t=0,05$ y $0,5$ mm/min.mm.....	43
17. CUADRO 12. RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON Y SIN INMERSIÓN PARA $T= 40^{\circ}\text{C}$ – $t= 0,05$ mm/min.mm.....	46
18. CUADRO 13. RESULTADOS DE COMPRESIÓN SIMPLE CON Y SIN INMERSIÓN PARA $T= 40^{\circ}\text{C}$ – $t= 0,05$ mm/min.mm.....	47
19. CUADRO 14. RESULTADOS DE TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA $T= 40^{\circ}\text{C}$ – $t= 0,05$ mm/min.mm.....	47

20. CUADRO 15. RESULTADOS DE FLEXIÓN SEMICIRCULAR CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05 mm/min.mm.....	48
21. CUADRO 16. RESULTADOS DE ENSAYO MTOP PARA MARSHALL Y TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 60°C/T= 25°C – t= 0,5 mm/min.mm RESPECTIVAMENTE.....	49
22. CUADRO 17. CÁLCULOS DE COHESIÓN.....	50
23. CUADRO 18. COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....	51
24. CUADRO 19. RESISTENCIA RETENIDA CON INMERSIÓN.....	52
25. CUADRO 20. RESISTENCIA RETENIDA CON INMERSIÓN PRUEBAS MTOP.....	53

Índice de Gráficos

1. GRÁFICO 1. CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS EXTRAÍDOS.....	31
2. GRÁFICO 2. ESTABILIDAD MARSHALL.....	38
3. GRÁFICO 3. RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE SIN CONFINAMIENTO LATERAL.....	39
4. GRÁFICO 4. TRACCIÓN INDIRECTA.....	39
5. GRÁFICO 5. FLEXIÓN SEMICIRCULAR.....	40
6. GRÁFICO 6. ESTABILIDAD MARSHALL PARA T=60°C - t=5 y 50mm/min.....	41
7. GRÁFICO 7. COMPRESIÓN SIMPLE PARA T=60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm.....	42
8. GRÁFICO 8. TRACCIÓN INDIRECTA PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm.....	43
9. GRÁFICO 9. FLEXIÓN SEMICIRCULAR PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm.....	44
10. GRÁFICO 10. COMPARACIÓN MARSHALL CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm.....	46
11. GRÁFICO 11. COMPARACIÓN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE CON Y SIN INMERSION PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm....	47
12. GRÁFICO 12. COMPARACIÓN TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t=0,05mm/min.mm.....	48
13. GRÁFICO 13. COMPARACIÓN FLEXIÓN SEMICIRCULAR CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm.....	48
14. GRÁFICO 14. COMPARACIÓN ENSAYO MTOP MARSHALL CON Y SIN INMERSION PARA T= 60°C – t= 0,5mm/min.mm.....	49
15. GRÁFICO 15. COMPARACIÓN ENSAYO MTOP TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSION PARA T= 25°C – t= 0,5mm/min.mm.....	49

RESUMEN

Las mezclas asfálticas en caliente para pavimentos, deben cumplir ciertas propiedades que les permitan tener un buen comportamiento durante todo su período de diseño. Entre las más importantes están la resistencia a las deformaciones plásticas y la resistencia a la fisuración.

Se aplicaron cuatro ensayos diferentes a briquetas y cilindros obtenidos de una planta asfáltica con densidad típica variando las condiciones de temperatura y velocidad de desplazamiento de la carga.

Se trató de conservar en cada momento la sencillez de los ensayos elaborados ya que estos deben ser fáciles de realizar en obra. Teniendo como objetivo evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas a través de pruebas simples que analicen deformaciones plásticas:

- Estabilidad Marshall (E.M)
- Compresión sin confinamiento lateral (R.C.S)

Y fisuración:

- Tracción Indirecta (T.I.)
- Flexión semi circular (R.T.S.C.)

Con el fin de establecer recomendaciones que permitan mejorar los controles de calidad rutinarios.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La palabra asfalto se cree viene derivada de la palabra *asphaltic*, de la Tierra de Acadia, para luego ser adaptada por los Griegos en la forma de *asphaltos* que significa “hacer firmes o estables”.

Se cree que el asfalto es el material de ingeniería mas antiguo de la historia del hombre. Existiendo registros de su utilización en civilizaciones como los Sumerios 6000A.C., en construcción de navíos, o como morteros en los zigurats como la Torre de Babel, hasta en la civilización Egipcia como material impermeable 2600A.C. Desde su extenso pasado hasta el presente el asfalto se ha utilizado como cemento para unión, revestimiento, impermeabilización de objetos siendo uno de los materiales naturales mas versátiles existentes.

Debido al boom de la popularidad de los automóviles al principio de los años 1900s y la gran demanda de mejores caminos se crea una industria de rápido desarrollo para el asfalto descubriendo métodos de refinería de asfalto del petróleo crudo.

El cemento asfáltico es un material café oscuro a negro que consiste principalmente de bitúmenes obtenidos de la destilación de petróleo crudo calentado a cerca de 345°C. A temperatura ambiente es un material semi sólido muy viscoso. A altas temperaturas se vuelve líquido. El cemento asfáltico es usado principalmente para las producción de mezclas asfálticas en caliente para el uso de construcción de carreteras.

Por definición la mezcla asfáltica en caliente es: la combinación de agregado de alta calidad bien gradado y cemento asfáltico. Ambos componentes se mezclan en caliente para asegurar un buen revestimiento del agregado y

consistencia de la mezcla. Las proporciones de los diferentes agregados deben ser cuidadosamente mezcladas para producir una gradación final de acuerdo a las especificaciones. Por lo general el asfalto y los agregados son calentados a temperaturas entre 121°C a 163°C. La mezcla asfáltica en caliente obtenida de la planta de asfalto es transportada al lugar de construcción donde es tendida en la vía por medio de una pavimentadora o finisher. La capa o carpeta asfáltica es compactada por rodillos para la obtención de la densidad adecuada.

1.2 ANTECEDENTES

Los agregados y cemento asfáltico que componen la mezcla asfáltica en caliente, poseen cualidades muy particulares, cuyas proporciones en la mezcla mas la efectividad del proceso de compactación implicarán propiedades que pudiesen ser muy variables. Dentro de estas propiedades vale mencionar la resistencia al ahuellamiento (deformaciones plásticas) y la fatiga (fisuras).

El control de calidad rutinario a las mezclas fabricadas en planta se basa, además del chequeo de componentes, en la comprobación de ciertos parámetros previstos en el diseño Marshall sobre briquetas compactadas con el 100% de la energía de compactación (usualmente 75 golpes/cara). Los parámetros volumétricos son densidades, porcentaje de vacíos con aire, de vacíos en el agregado mineral y de vacíos rellenos de asfalto, y los parámetros resistentes relacionados con la deformación plástica, son la estabilidad Marshall y el flujo. Estos dos últimos parámetros son empíricos y de difícil interpretación desde un punto de vista tenso-deformacional.

Pese a cumplirse usualmente con este tipo de control, es muy frecuente ver en el país pavimentos fisurados o deformados a los pocos años de construcción o rehabilitación, lo que demuestra insuficiencia de este sistema

de control. Es decir que existe la necesidad de investigar el significado y connotación de la prueba Marshall para el control de deformaciones y valorar el empleo de pruebas simples adicionales que permitan evaluar también la resistencia al fisuramiento de la mezcla.

Al referirnos en este trabajo a controles rutinarios y a pruebas simples, se debe tener en cuenta que las pruebas utilizadas consideran el equipamiento existente en los pequeños laboratorios de planta o “de campo”, que con las complementaciones del caso pueden ofrecer resultados de fácil interpretación y ayuda al personal involucrado en estas labores, pese a ser tecnológicamente sencillos.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas a través de pruebas simples que analicen deformaciones plásticas y fisuración.

Objetivo específico:

- Realizar en el laboratorio ensayos de Estabilidad Marshall (E.M) y Compresión sin confinamiento lateral (R.C.S) para la resistencia a la deformación plástica.
- Realizar en el laboratorio ensayos de Tracción Indirecta (T.I.) y Flexión semi circular (R.T.S.C.) para la resistencia a la fisuración. Con el fin de establecer recomendaciones que permitan mejorar los controles de calidad rutinarios.

1.4 ALCANCE

El estudio se realizará sobre una mezcla asfáltica densa típica, de tamaño máximo de ½" (12,5mm), empleada usualmente en la vías del Guayas.

Al ser un mezcla asfáltica un material visco-elástico, este estudio se realizará variando las temperaturas de ensayo así como el tiempo de aplicación de las cargas. A partir de los resultados obtenidos se recomendará la prueba más adecuada para cada tipo de problema (deformación y fisuramiento)

La prueba de flexión semi-circular es novedosa en el Ecuador y la prueba de compresión simple se ha utilizado de manera muy limitada.

2. CAPÍTULOS

2.1 PRUEBAS SIMPLES PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1.1 PROPIEDADES DE INTERÉS

El diseño de la mezclas asfálticas en caliente es un proceso de seleccionar y dosificar los materiales constituyentes y así obtener las propiedades deseadas en la estructura del pavimento.

Las propiedades más importantes deseadas de la mezcla asfáltica (Asphalt Handbook, 2007) son:

- 1) Resistencia a deformación permanente: al momento que la mezcla es sometida a cargas de trafico, esta no debe desplazarse ni distorsionarse, esto es más importante en altas temperaturas.
- 2) Resistencia a la Fatiga: la mezcla no debe fisurarse cuando es sometida a cargas repetitivas con el paso del tiempo.
- 3) Durabilidad: la mezcla debe tener suficiente cemento asfáltico para asegurar un adecuado espesor de la película que rodea las partículas de agregados, no debe tener un alto nivel de vacíos de aire que acelera el proceso de envejecimiento y los daños inducidos por agua.
- 4) Resistencia al deslizamiento: seguridad.

Tal como se mencionó anteriormente se busca en este trabajo analizar las propiedades de resistencia y fisuración de las briquetas. Evidentemente una prueba monotónica simple aplicada con una prensa convencional no pudiera constituirse en una prueba de fatiga (cargas repetidas). Por esta razón en el trabajo se identifica esta propiedad como “propiedades de fisuración”.

2.1.2 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN

2.1.2.1 PRUEBA MARSHALL

El método Marshall para el diseño de la mezcla asfáltica fue formulado por el Ingeniero Bruce Marshall con el Departamento de carreteras del Estado de Mississippi, luego el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en base a extensas investigaciones y estudios relacionados mejoraron y aumentaron algunas características para el proceso de la prueba Marshall, desarrollando así un criterio de diseño para la mezcla. Estas características han sido estandarizados por la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM D 6927, 2006).

La Prueba Marshall se utiliza tanto en el laboratorio para diseño y en obra para el control de calidad de la mezcla. En la prueba Marshall la resistencia a la deformación plástica de un cilindro de mezcla bituminosa es medido cuando el espécimen se carga diametralmente a un rango de deformación de 50mm por minuto. Existen dos características principales del método Marshall para el diseño de la mezcla: análisis de densidad de vacíos de aire y pruebas de estabilidad de flujos. La estabilidad Marshall se define como la carga máxima del espécimen a la temperatura estándar de 60°C. El valor del flujo es la deformación de la briqueta en el momento que alcanza la carga máxima. El flujo se mide en unidades de 0,25mm.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se utiliza cilindros estándar de prueba de 2,5 pulgadas (64mm) de altura y 4 pulgadas (102mm) de diámetro. Estos cilindros son preparados bajo procedimientos específicos de temperatura, mezcla y compactación de la mezcla asfalto-agregado. Estos especímenes son compactados por un martillo Marshall y sus ensayos se realizan en una prensa Marshall.

El proceso de la Prueba Marshall consiste de 3 pasos básicos:

- 1) Selección de Agregados.
- 2) Selección de Asfalto.
- 3) Mano factura de las briquetas con una mezcla particular de los agregados y asfalto.

Equipos y Materiales:

- 1) Molde Marshall
- 2) Extractor Marshall
- 3) Martillo Marshall
- 4) Prensa Marshall

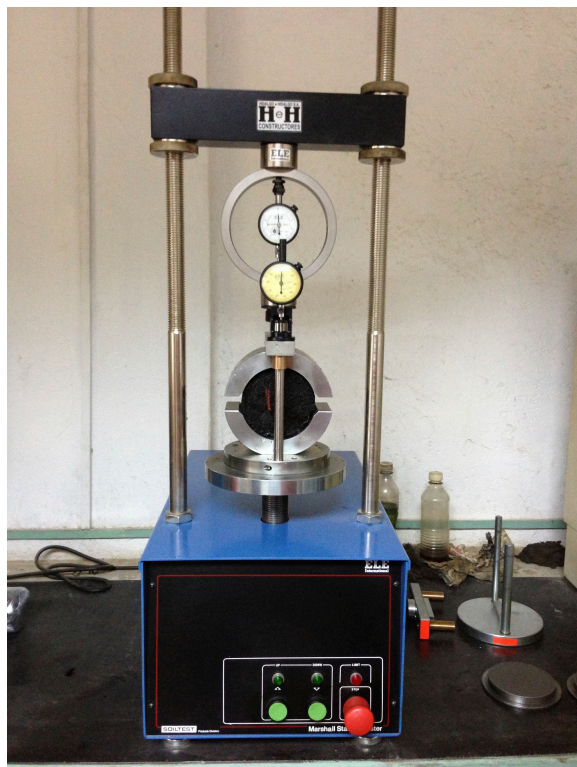


FOTO 1. PRUEBA MARSHALL

Preparación de las briquetas:

- a) Las briquetas son compactadas con el martillo Marshall generalmente entre 50 a 75 golpes dependiendo del requerimiento.

b) Las briquetas se prueban en la prensa Marshall para estabilidad y flujo, mediante la aplicación de una velocidad de deformación constante de 50mm/min, las briquetas son confinadas casi en la totalidad de su circunferencia por medio de mordazas, mientras que la parte superior e inferior se encuentran sin confinamiento.

El valor máximo de la carga hasta el momento de la rotura se le denomina Estabilidad Marshall. Este valor es corregido por volumen dadas las posibles fluctuaciones en la altura de las briquetas confeccionadas (Tabla 1). El valor total de la deformación en unidades de 0,25mm que ocurre en el momento de la carga máxima es registrado como Valor de Flujo.

ESTABILIDAD MARSHALL, KG = CARGA MAXIMA KG x FACTOR DE CORRECIÓN POR ALTURA

Tabla 1. FACTORES DE CORRELACIÓN DE ESTABILIDAD

Volume of specimen, cm ³	Approximate thickness of specimen		Correlation ratio
	mm	in.	
200 to 213	25.4	1	5.56
214 to 225	27.0	1 1/16	5.00
226 to 237	28.6	1 1/8	4.55
238 to 250	30.2	1 3/16	4.17
251 to 264	31.8	1 1/4	3.85
265 to 276	33.3	1 5/16	3.57
277 to 289	34.9	1 3/8	3.33
290 to 301	36.5	1 7/16	3.03
302 to 316	38.1	1 1/2	2.78
317 to 328	39.7	1 9/16	2.50
329 to 340	41.3	1 5/8	2.27
341 to 353	42.9	1 11/16	2.08
354 to 367	44.4	1 3/4	1.92
368 to 379	46.0	1 13/16	1.79
380 to 392	47.6	1 7/8	1.67
393 to 405	49.2	1 15/16	1.56
406 to 420	50.8	2	1.47
421 to 431	52.4	2 1/16	1.39
432 to 443	54.0	2 1/8	1.32
444 to 456	55.6	2 3/16	1.25
457 to 470	57.2	2 1/4	1.19
471 to 482	58.7	2 5/16	1.14
483 to 495	60.3	2 3/8	1.09
496 to 508	61.9	2 7/16	1.04
509 to 522	63.5	2 1/2	1.00
523 to 535	64.0	2 9/16	0.96
536 to 546	65.1	2 5/8	0.93
547 to 559	66.7	2 11/16	0.89
560 to 573	68.3	2 3/4	0.86
574 to 585	71.4	2 13/16	0.83
586 to 598	73.0	2 7/8	0.81
599 to 610	74.6	2 15/16	0.78
611 to 625	76.2	3	0.76

2.1.2.2 COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO LATERAL

Este ensayo es novedoso y muy limitado en su utilización en el Ecuador. Sirve para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. La compresión sin confinamiento lateral puede contribuir para la caracterización general de la mezcla y es un factor que determina su idoneidad como material de pavimentación de carreteras bajo condiciones ambientales y de carga dadas. Esta prueba se encuentra estandarizada (ASTM 1074, 1996). Llama la atención que en dicha normativa la relación altura/diámetro del cilindro es igual a uno, algo no recomendado por muchos autores (E.R. Brown et al, 2001). Por esta razón se trabajó con una relación altura/diámetro igual a dos.

Para la preparación de los cilindros de ensayo es necesaria la fabricación de moldes metálicos para cumplir con las dimensiones necesarias para realizar las pruebas de carga (Anexo 1). En nuestro caso se utilizó cilindros compuestos de mezcla asfáltica de 76mm de diámetro y 150mm de altura.



FOTO 2. MOLDES PARA ELABORACIÓN DE CILINDROS Y CILINDRO



FOTO 3. CILINDRO PARA ENSAYOS

Procedimiento de elaboración de los cilindros:

- 1) Se coloca la mordaza en el soporte inferior
- 2) Se coloca el cilindro hueco encima de la mordaza
- 3) Se vierte la mezcla asfáltica caliente en el cilindro, tratando de llenar todos los espacios dentro de este con ayuda de una espátula, hasta dejar aproximadamente 0,5 cm de altura libre del cilindro hueco.
- 4) Se coloca el soporte superior
- 5) Se lleva el grupo completo a la prensa para rotura de cilindros y se aplica una precarga de 500kg.
- 6) Se procede a retirar la mordaza
- 7) Se aplica carga axial de 13600kg por aproximadamente 3 minutos hasta compactar el cilindro obteniendo un 7% +/- 0,5% de porcentaje de vacíos.
- 8) Se remueven los moldes metálicos y se obtiene el cilindro de mezcla asfáltica para el ensayo.



FOTO 4. CLINDRO PARA ENSAYO DE COMPRESION

Una vez listos los especímenes éstos se prueban con carga axial sin confinamiento lateral a una velocidad de deformación uniforme de 0,05 y 0,5 mm/min.mm

La resistencia a la compresión simple se obtiene de la siguiente ecuación:

$$R_c = P/A$$

Donde:

R_c = resistencia a la compresión simple

P = carga máxima, Kg

A = Área de la sección transversal del cilindro



FOTO 5. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIN CONFINAMIENTO LATERAL

2.1.3 EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FISURACIÓN

2.1.3.1 TRACCIÓN INDIRECTA

Para esta prueba se somete los cilindros estándar de prueba Marshall a una compresión uniforme sobre dos líneas de acción diametral opuestas hasta alcanzar la rotura.



FOTO 6. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA

Con esta prueba se puede determinar la resistencia a tracción que es la que agota la briqueta produciendo la grieta de fatiga o rotura en el plano diametral. Para lograr un esfuerzo uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical es necesario que la utilización de 2 placas de apoyo curvo con igual radio de curvatura a la briqueta de 12,7mm de ancho; logrando así que la distribución de las tensiones no se altere significativamente. La velocidad del desplazamiento del sistema durante la carga será uniforme y puede ser igual a la empleada por la prensa en el ensayo Marshall. La prueba de tracción indirecta se encuentra estandarizada (ASTM D6931, 2012).

Teóricamente la distribución de tensiones en la briqueta se basa en el análisis de un material con comportamiento elástico y lineal. El fallo inicial se produce por rotura a tracción; por lo tanto, la resistencia a tracción indirecta está dada por la siguiente ecuación:

$$St = (2P) / (\pi t D)$$

Donde:

St: resistencia a la tracción indirecta, kg/cm²

P: carga máxima, kg

t: espesor de la briqueta, cm

D: diámetro de la briqueta, cm

Las ventajas de este ensayo, aparte de su sencillez que se mencionó anteriormente, es la semejanza a la prueba Marshall con respecto a preparación de moldes y equipos utilizados. Además la variación de resultados es relativamente baja con briquetas ensayadas con las mismas dosificaciones y condiciones llegando a ser menor al 10% en comparación a otros métodos como el mismo Marshall que puede ser del 15% al 20%. Por otro lado una de sus desventajas es que el estado de tensión del espécimen sobre carga no es una representación real del estado de estrés del conjunto de estructura del pavimento.

2.1.3.2 FLEXIÓN SEMI CIRCULAR PROPIEDADES DE FISURACIÓN

Los especímenes para realizar esta prueba son de muy fácil obtención ya que se utilizan los moldes Marshall cortados en la mitad. En el ensayo se aplica una carga monotónica vertical en la probeta hasta su falla. La carga y la deformación vertical se registra continuamente. El sistema consiste de una simple carga de flexión en tres puntos.



FOTO 7. ENSAYO DE FLEXIÓN SEMICIRCULAR

Se utilizan dos rodillos como soportes inferiores y un rodillo superior donde se aplica la carga. El diámetro de la briqueta es de 100mm y la distancia entre los soportes inferiores es igual a 0,8 veces el diámetro. El espesor de la probeta es igual al del Marshall, es decir 63,5 mm. El ensayo de flexión semicircular se desarrolló para medir la susceptibilidad del asfalto al agrietamiento.

Entre las desventajas de esta prueba están los factores de la geometría del espécimen ya que el efecto de arco restringe las grietas. Existe también una variación del ensayo en donde se induce el agrietamiento por medio de una muesca en la probeta. Con esto es posible determinar la carga crítica de falla de una construcción con cierta longitud de grieta, también se puede predecir la longitud de grieta crítica a la cual una construcción falla cuando una carga de eje específica pasa sobre esta.

Para el cálculo de la flexión semicircular, la tensión máxima en la parte inferior de la muestra se obtiene de la siguiente ecuación (Huang, 2007):

$$\sigma = \frac{3PL}{2th^2} = \frac{6PL}{tD^2}$$

Donde:

σ = resistencia a la flexión semicircular (Mpa)

P = carga máxima, N

L = espaciamiento entre los soportes

D = diámetro de la briqueta, mm

t = espesor de la briqueta, mm

h = $D/2$, alto de la briqueta

Esta prueba se ha venido desarrollando desde hace algunos años, por diferentes autores (M. Arabani et al, 2008). No se encuentra aun estandarizada bajo norma ASTM.

2.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.2.1 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Para la primera parte se procede a la elaboración de 34 briquetas Marshall y 12 cilindros con 7% +/- 0,5% de porcentaje de vacíos, de una mezcla obtenida de una planta asfáltica en caliente con granulometría de tamaño máximo de 12.5mm, usualmente empleadas en capas de rodadura. El porcentaje de vacíos seleccionado corresponde en la práctica al máximo permitido para un nivel de compactación del 97%, porcentaje que constituye la exigencia mínima de compactación en obra.

La distribución de las briquetas y cilindros para los ensayos fue la siguiente:

- 12 briquetas para Estabilidad Marshall
- 12 cilindros para Compresión Simple
- 15 briquetas para Tracción Indirecta
- 7 briquetas para Flexión Semicircular

En esta primera parte, todos los especímenes fueron ensayados sin condiciones de inmersión previa. Las temperaturas de ensayo y tiempos de aplicación de carga para cada prueba fueron los siguientes:

ENSAYO	VELOCIDAD t (mm/min.mm)	TEMPERATURA (°C)		
		25	40	60
MARSHALL	0,05	X	X	X
COMPRESIÓN SIMPLE	0,05	x	x	x
TRACCIÓN INDIRECTA	0,05	x	x	x
SEMI CÍRCULO	0,05	x	x	x

TABLA 2. ENSAYOS t=0,05 mm/min.mm

ENSAYO	VELOCIDAD t (mm/min.mm)	TEMPERATURA (°C)		
		25	40	60
MARSHALL	0,5			X
COMPRESIÓN SIMPLE	0,5			x
TRACCIÓN INDIRECTA	0,5	x		x
SEMI CÍRCULO	0,5	x		x

TABLA 3. ENSAYOS t=0,5 mm/min.mm

Para la segunda parte se realizan los ensayos de Estabilidad Marshall, Compresión sin Confinamiento Lateral, Tracción Indirecta y Flexión Semicircular en briquetas con un porcentaje de saturación de agua del 60% al 80%, con inmersión por 24 horas a 60°C y luego llevado durante 2 horas a T=40°C para las pruebas a t=0,05mm/min.mm.

Adicionalmente se hicieron dos análisis de daño en agua exigidos en el Ecuador (MTO, 2002) de Estabilidad Marshall a T=60°C – t=0,5mm/min.mm y Tracción Indirecta a T=25°C – t=0,5mm/min.mm

La distribución de las briquetas y cilindros para los ensayos de la segunda parte fue la siguiente:

- 6 briquetas para Estabilidad Marshall
- 6 briquetas para Tracción Indirecta
- 2 briquetas para Flexión Semicircular
- 3 cilindros para Compresión Simple

ENSAYO CON INMERSIÓN	VELOCIDAD t (mm/min.mm)	TEMPERATURA (°C)		
		25	40	60
MARSHALL	0,05		x	
COMPRESIÓN SIMPLE	0,05		x	
TRACCIÓN INDIRECTA	0,05		x	
SEMI CÍRCULO	0,05		x	

TABLA 4. ENSAYO t= 0,05 mm/min.mm

ENSAYO CON INMERSIÓN	VELOCIDAD t (mm/min.mm)	TEMPERATURA (°C)		
		25	40	60
MARSHALL	0,5			x
COMPRESIÓN SIMPLE	0,5			
TRACCIÓN INDIRECTA	0,5	x		
SEMI CÍRCULO	0,5			

TABLA 5. ENSAYO t= 0,5 mm/min.mm MTOP

2.2.2 ANÁLISIS DE LA MEZCLAS ÁSFALTICA EMPLEADA

Los siguientes cuadros y gráficos muestran el resumen de las características principales de la mezcla:

CUADRO 1. CHEQUEO GRANULOMÉTRICO EN AGREGADOS EXTRAÍDOS

ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19,00	0,0	0,0	100,0	100	100
1/2"	12,70	54,6	5,8	94,2	90	100
# 4	4,75	386,4	40,9	59,1	44	74
# 8	2,36	558,6	59,2	40,8	28	58
# 50	0,30	825,3	87,5	12,5	5	21
# 200	0,10	916,7	97,1	2,9	2	10
FONDO	FONDO	943,7				

ESPECIFICACIÓN: 1/2". MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

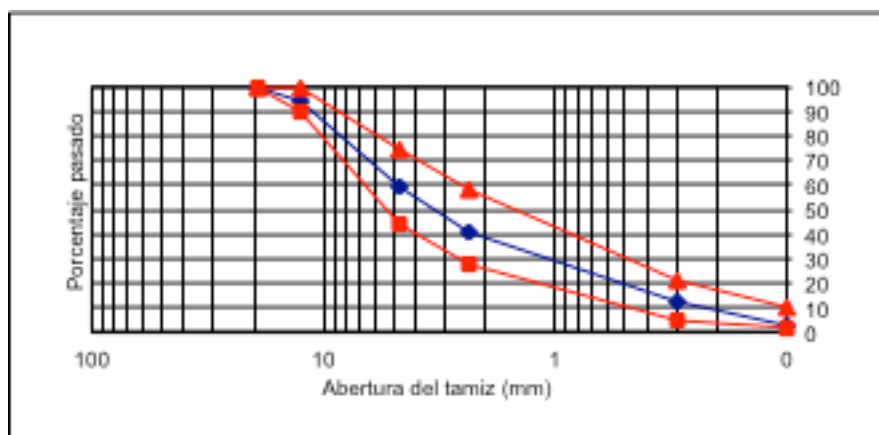


GRÁFICO 1. CURVA GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS EXTRAÍDOS

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO.

W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	998,80
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	12,89
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0,00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	939,83
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	13,75
W3B = F2 - F1	0,86
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	940,69
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3,00
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	5,52

Para la elaboración las mezclas se utilizó siempre asfalto AC-20 procedentes de la Refinería de Esmeraldas en Ecuador.

ENSAYO RICE REPRESENTATIVO PARA LAS BRIQUETAS

A: PESO DEL FRASCO + AGUA	7191,0 gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL	8102,0 gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA	1503,0 gr
RICE = C / [A - (B - C)] =	2,539

CUADRO 2. CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN LAS BRIQUETAS

BRIQUETAS	Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacios en mezcla (%)
1	1166	670	1168	498	2,341	7,78
2	1185	687	1187	500	2,370	6,65
3	1315	762	1317	555	2,369	6,68
4	1244	721	1246	525	2,370	6,67
5	1245	722	1249	527	2,362	6,95
6	1223	708	1226	518	2,361	7,01
7	1216	703	1218	515	2,361	7,00
8	1211	700	1214	514	2,356	7,20
9	1219	704	1222	518	2,353	7,31
10	1225	706	1227	521	2,351	7,39
11	1237	714	1240	526	2,352	7,37
12	1176	681	1178	497	2,366	6,80
13	1187	685	1190	505	2,350	7,42
14	1237	713	1239	526	2,352	7,37
15	1116	646	1117	471	2,369	6,67
16	1206	698	1207	509	2,369	6,68
17	1164	674	1166	492	2,366	6,81
18	1183	683	1185	502	2,357	7,18
19	1172	680	1174	494	2,372	6,55
20	1199	691	1201	510	2,351	7,40
21	1179	682	1183	501	2,353	7,31
22	1196	692	1198	506	2,364	6,90
23	1242	722	1244	522	2,379	6,28
24	1161	669	1163	494	2,350	7,43
25	1161	673	1163	490	2,369	6,67
26	1147	665	1150	485	2,365	6,85
27	1197	692	1198	506	2,366	6,82
28	1110	641	1113	472	2,352	7,37
29	1146	663	1148	485	2,363	6,93
30	1223	707	1226	519	2,356	7,18
31	1160	670	1163	493	2,353	7,32
32	1314	757	1316	559	2,351	7,41
33	1070	618	1073	455	2,352	7,37
34	1250	719	1253	534	2,341	7,80
35	1225	705	1226	521	2,351	7,39
36	1187	687	1189	502	2,365	6,87
37	1242	719	1245	526	2,361	7,00
38	1159	670	1160	490	2,365	6,84
39	1146	660	1147	487	2,353	7,31
40	1216	701	1218	517	2,352	7,36
41	1154	669	1156	487	2,370	6,67
42	1143	667	1145	478	2,391	5,82
43	1178	681	1181	500	2,356	7,20
44	1185	688	1187	499	2,375	6,46
45	1181	681	1183	502	2,353	7,34
46	1195	687	1198	511	2,339	7,89
47	1168	671	1171	500	2,336	7,99
48	1168	674	1171	497	2,350	7,43
49	1159	670	1163	493	2,351	7,40
50	1132	653	1135	482	2,349	7,50
51	1164	674	1166	492	2,366	6,81
52	1183	683	1185	502	2,357	7,18
53	1172	680	1174	494	2,372	6,55

*BRIQUETAS # 1, 34, 42, 46 Y 47 FUERON DESECHADAS POR NO CUMPLIR PORCENTAJE DE VACÍOS EN MEZCLA (7% +/- 0,5%)

ENSAYO RICE REPRESENTATIVO PARA LOS CILINDROS

A: PESO DEL FRASCO + AGUA	7191,0 gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL	8097,6 gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA	1500,0 gr
RICE = C / [A - (B - C)] =	2,528

CUADRO 3. CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN LOS CILINDROS

CILINDROS	Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
1	1610	930	1614	684	2,354	6,88
2	1612	930	1616	686	2,350	7,04
3	1609	927	1613	686	2,345	7,21
4	1623	934	1627	693	2,342	7,35
5	1629	940	1633	693	2,351	7,01
6	1620	932	1624	692	2,341	7,39
7	1626	937	1630	693	2,346	7,18
8	1625	941	1629	688	2,362	6,56
9	1624	940	1628	688	2,360	6,62
10	1622	938	1626	688	2,358	6,74
11	1622	936	1626	690	2,351	7,01
12	1624	940	1628	688	2,360	6,62
13	1624	933	1628	695	2,337	7,56
14	1628	935	1632	697	2,336	7,60
15	1626	934	1630	696	2,336	7,58
16	1594	914	1598	684	2,330	7,81
17	1592	916	1596	680	2,341	7,38
18	1619	936	1623	687	2,357	6,77
19	1627	938	1631	693	2,348	7,12

*CILINDROS # 13, 14, 15 Y 16 FUERON DESECHADOS POR NO CUMPLIR PORCENTAJE DE VACÍOS EN MEZCLA (7% +/- 0,5%)



FOTO 8. DETALLE DE PLANTA DE ASFALTO



FOTO9. TOMA DE MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA



FOTO 10. BRIQUETAS Y CILINDROS ELABORADOS PARA LOS ENSAYOS

2.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARTE # 1

En los cuadros a continuación se muestran los resultados para los diversos ensayos realizados:

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	F.CORR.	E.M. (kgf)	E.M. (lb)	FLUJO
28	25	5	6,0	340	1475	1,09	1608	3537	12,5
29	25	5	6,0	384	1664	1,09	1814	3990	19
30	25	5	6,5	379	1640	0,96	1574	3464	19
							PROMEDIO	3664	
							DES.EST.	285	
							COEF. VAR.	7,79%	
18	40	5	6,3	190	827	1,00	827	1819	18
21	40	5	6,2	194	845	1,04	879	1933	15
22	40	5	6,3	224	975	1,00	975	2145	15
							PROMEDIO	1966	
							DES.EST.	165	
							COEF. VAR.	8,40%	
14	60	5	6,6	95	415	0,96	398	876	11,5
16	60	5	6,3	110	480	1,00	480	1056	9,5
17	60	5	6,2	117	510	1,04	530	1167	12
							PROMEDIO	1033	
							DES.EST.	147	
							COEF. VAR.	14,18%	
10	60	50	6,4	197	669	1,00	669	1472	15
11	60	50	6,6	200	679	0,96	652	1434	17
12	60	50	6,2	185	629	1,04	654	1438	17
							PROMEDIO	1448	
							DES.EST.	21	
							COEF. VAR.	1,42%	

CUADRO 4. RESULTADO PARA ESTABILIDAD MARSHALL

# CILINDRO	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	R.C.S. (kg/cm ²)
10	25	7,5	14,9	264	1145	25,1
11	25	7,5	14,9	274	1190	26,1
12	25	7,5	14,9	268	1165	25,5
					PROMEDIO	25,6
					DES.EST.	0,49
					COEF. VAR.	1,93%
7	40	7,5	15,0	93	407	8,9
8	40	7,5	14,9	100	436	9,6
9	40	7,5	14,9	99	432	9,5
					PROMEDIO	9,3
					DES.EST.	0,34
					COEF. VAR.	3,70%
3	60	7,5	14,8	37	164	3,6
5	60	7,5	15,0	26	116	2,5
6	60	7,5	14,9	36	160	3,5
					PROMEDIO	3,2
					DES.EST.	0,58
					COEF. VAR.	18,16%
1	60	50	14,8	68	235	5,1
2	60	50	14,8	68	235	5,1
4	60	50	15,0	59	204	4,5
					PROMEDIO	4,9
					DES.EST.	0,38
					COEF. VAR.	7,79%

CUADRO 5. RESULTADO PARA COMPRESION SIMPLE SIN CONFINAMIENTO LATERAL

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	T.I. (kg/cm ²)
35	25	5	6,4	80	352	3,4
36	25	5	6,3	86	376	3,7
37	25	5	6,6	87	380	3,6
					PROMEDIO	3,6
					DES.EST.	0,15
					COEF. VAR.	4,08%
38	25	50	6,1	157	534	5,5
39	25	50	6,0	156	531	5,5
41	25	50	6,0	213	723	7,5
					PROMEDIO	6,2
					DES.EST.	1,17
					COEF. VAR.	18,95%
25	40	5	6,1	35	155	1,6
26	40	5	6,1	33	146	1,5
27	40	5	6,3	35	155	1,5
					PROMEDIO	1,5
					DES.EST.	0,05
					COEF. VAR.	3,00%
43	60	5	7,2	11	50	0,4
44	60	5	6,5	13	58	0,6
45	60	5	7,3	10,5	48	0,4
					PROMEDIO	0,5
					DES.EST.	0,08
					COEF. VAR.	16,88%
31	60	50	6,2	24	87	0,9
32	60	50	7,0	27	97	0,9
33	60	50	5,7	23,5	85	0,9
					PROMEDIO	0,9
					DES.EST.	0,04
					COEF. VAR.	4,12%

CUADRO 6. RESULTADOS PARA LA TRACCION INDIRECTA

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	CARGA (Newton)	R.T.S.C.(MPa)	R.T.S.C.(kg/cm ²)
2A	25	2,5	6,3	42	185	1814	1,01	13,7
3A	25	2,5	6,7	41	181	1775	0,93	12,6
3B	25	2,5	6,7	41	181	1775	0,93	12,6
							PROMEDIO	12,9
							DES. EST.	0,63
							COEF. VAR.	4,88%
2B	25	50	6,3	112	383	3754	2,09	28,3
6A	25	50	7,0	99	339	3325	1,67	22,5
5A	25	50	6,6	91	312	3061	1,63	22,0
							PROMEDIO	24,3
							DES. EST.	3,47
							COEF. VAR.	14,32%
6B	40	2,5	7,0	13	58	569	0,29	3,9
5B	40	2,5	6,6	12	54	530	0,28	3,8
7A	40	2,5	7,0	12	54	530	0,27	3,6
							PROMEDIO	3,7
							DES. EST.	0,14
							COEF. VAR.	3,78%
7B	60	2,5	7,0	2	10	98	0,05	0,7
8A	60	2,5	7,2	3	14	137	0,07	0,9
9A	60	2,5	7,3	2	10	98	0,05	0,6
							PROMEDIO	0,7
							DES. EST.	0,15
							COEF. VAR.	20,00%
8B	60	50	7,2	7,5	31	304	0,15	2,0
9B	60	50	7,3	7,5	31	304	0,15	2,0
							PROMEDIO	2,0
							DES. EST.	0,02
							COEF. VAR.	0,98%

CUADRO 7. RESULTADOS PARA LA FLEXION SEMICIRCULAR

En las figuras a continuación se encuentran graficados los resultados de los diversos ensayos:

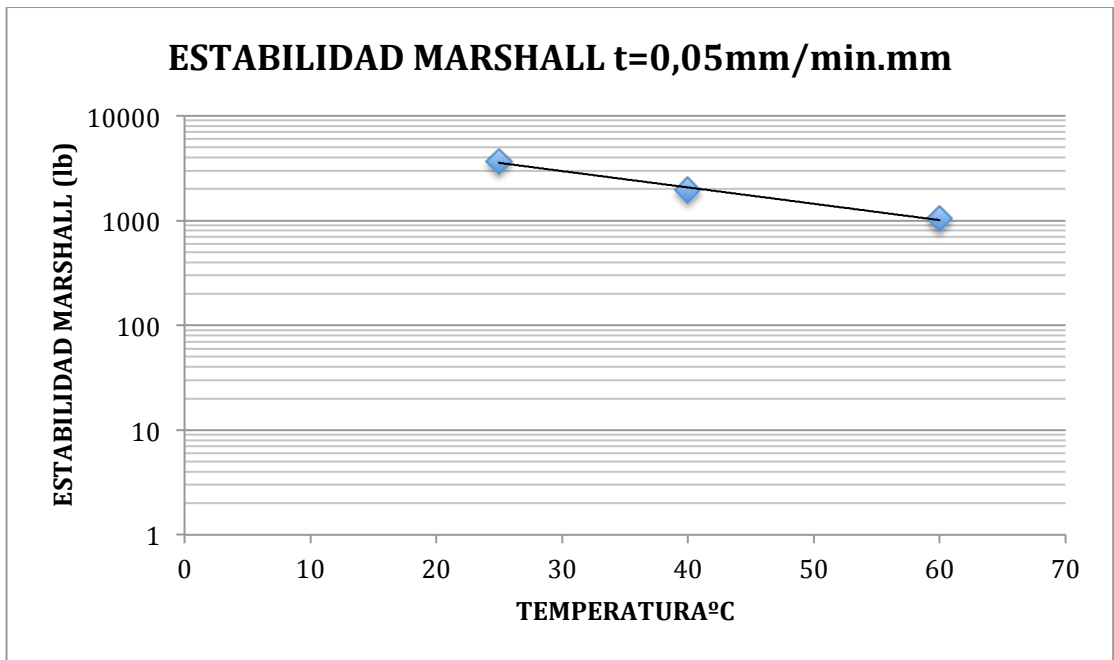


GRÁFICO 2. ESTABILIDAD MARSHALL

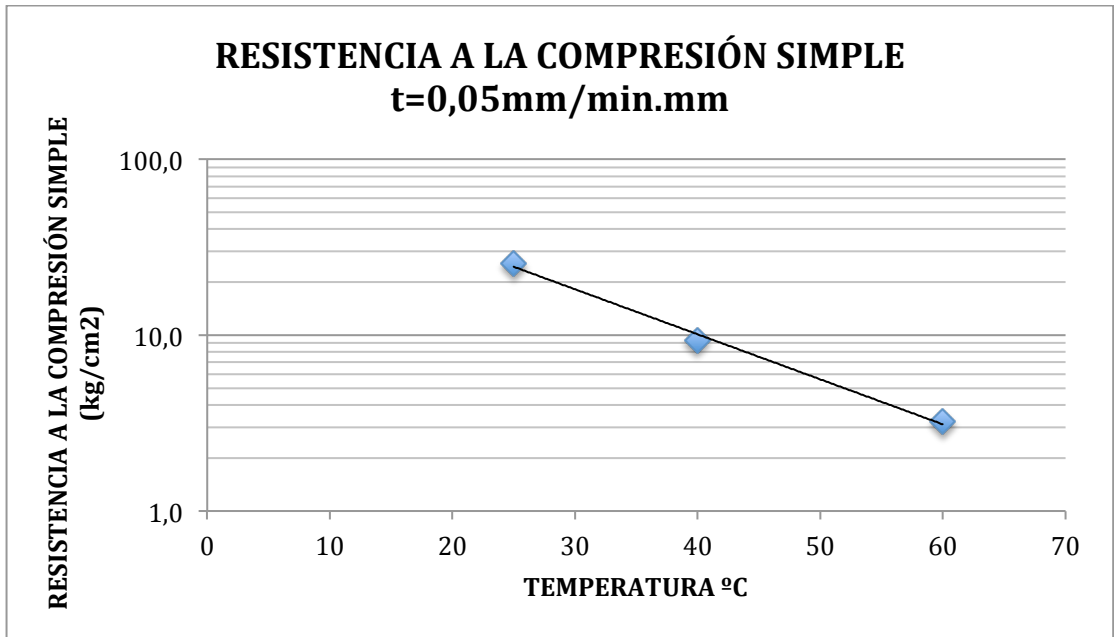


GRÁFICO 3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE SIN CONFINAMIENTO LATERAL

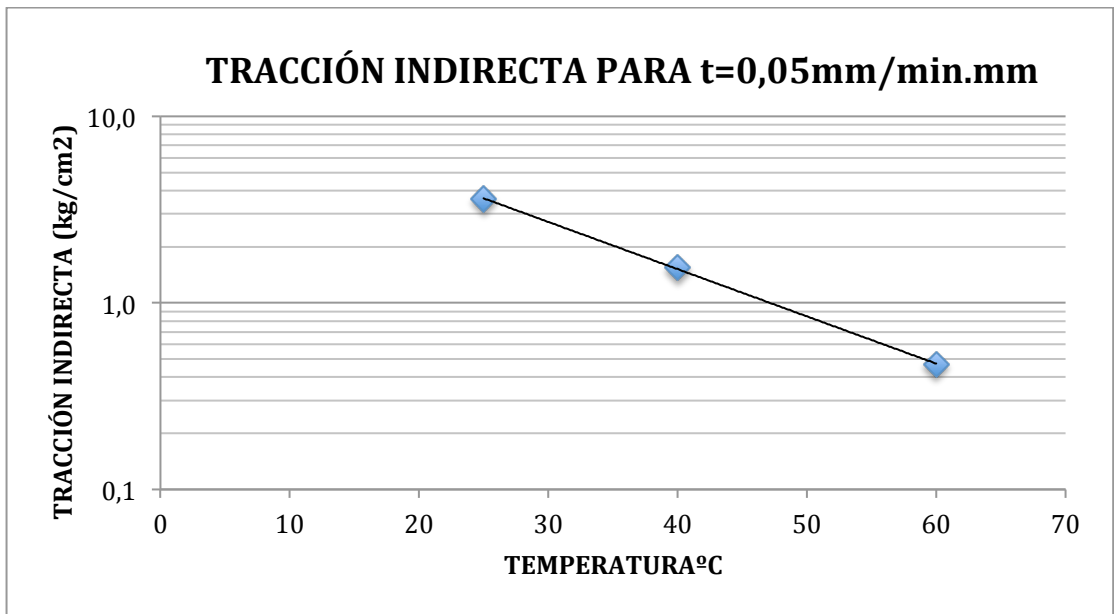


GRÁFICO 4. TRACCIÓN INDIRECTA

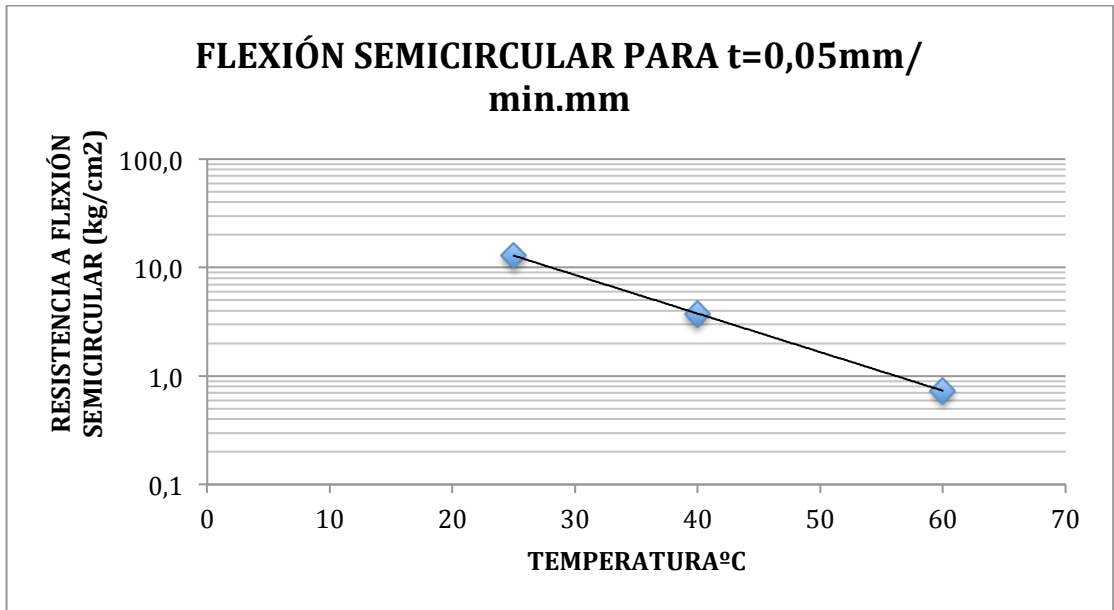


GRÁFICO 5. FLEXIÓN SEMICIRCULAR

En las siguientes figuras se muestra la variación de los de los resultados de las pruebas (Marshall, Compresión Simple, Tracción Indirecta y Flexión Semicircular) cuando las probetas son ensayadas a una misma temperatura pero diferente tiempo de aplicación de carga t.

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	F.CORR.	E.M. (kgf)	E.M. (lb)
14	60	5	6,6	95	415	0,96	398	876
16	60	5	6,3	110	480	1,00	480	1056
17	60	5	6,2	117	510	1,04	530	1167
							PROMEDIO	1033
							DES.EST.	147
							COEF. VAR.	14,18%
10	60	50	6,4	197	669	1,00	669	1472
11	60	50	6,6	200	679	0,96	652	1434
12	60	50	6,2	185	629	1,04	654	1438
							PROMEDIO	1448
							DES.EST.	21
							COEF. VAR.	1,42%
							% DE INCREMENTO	40,17%

CUADRO 8. ESTABILIDAD MARSHALL PARA T= 60°C - t= 0,05 y 0,5 mm/min.mm

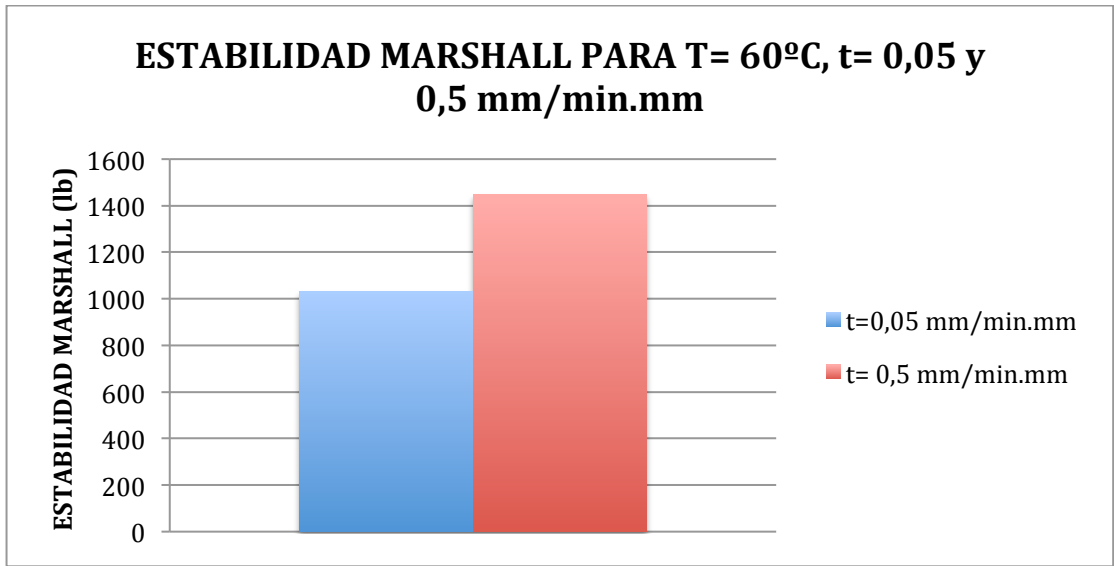


GRÁFICO 6. ESTABILIDAD MARSHALL PARA T=60°C - t=5 y 50mm/min

# CILINDRO	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	R.C.S. (kg/cm ²)
3	60	7,5	14,8	37	164	3,6
5	60	7,5	15,0	26	116	2,5
6	60	7,5	14,9	36	160	3,5
PROMEDIO						3,22
DES. EST.						0,58
COEF. VAR.						18,16%
1	60	50	14,8	68	235	5,1
2	60	50	14,8	68	235	5,1
4	60	50	15,0	59	204	4,5
PROMEDIO						4,93
DES. EST.						0,38
COEF. VAR.						7,79%
% INCREMENTO						53,14%

CUADRO 9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE PARA T= 60°C - t= 0,05 y 0,5 mm/min.mm

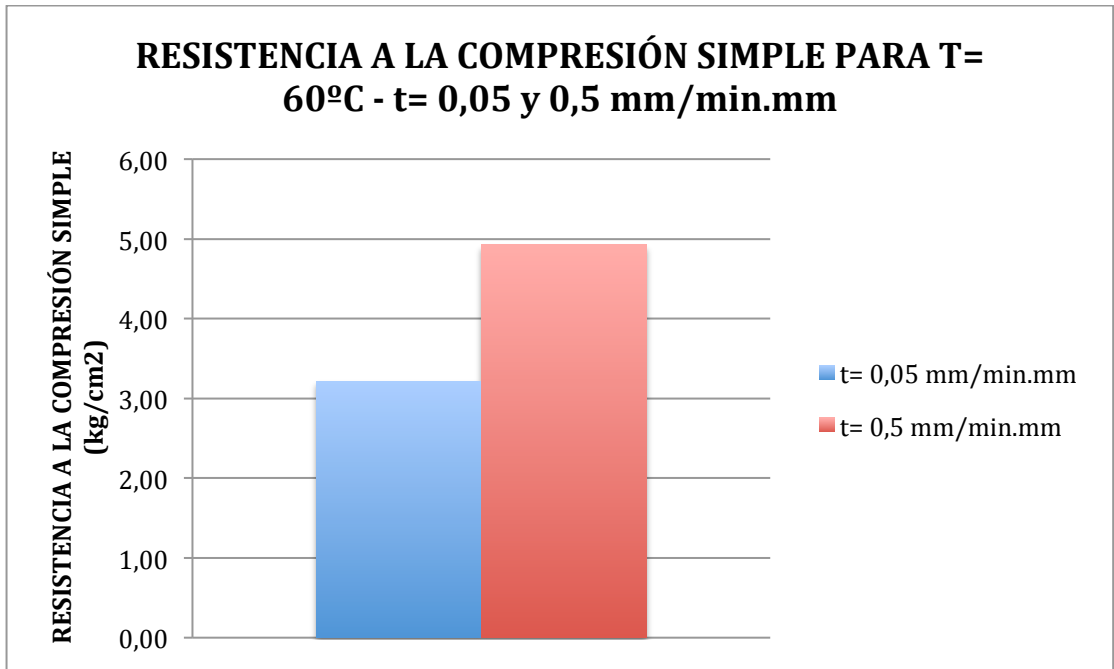


GRÁFICO 7. COMPRESIÓN SIMPLE PARA T=60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	T.I. (kg/cm²)
35	25	5	6,4	80	352	3,4
36	25	5	6,3	86	376	3,7
37	25	5	6,6	87	380	3,6
PROMEDIO						3,6
DES. EST.						0,15
COEF. VAR.						4,08%
38	25	50	6,1	157	534	5,5
39	25	50	6,0	156	531	5,5
41	25	50	6,0	213	723	7,5
PROMEDIO						6,2
DES. EST.						1,17
COEF. VAR.						18,95%
% INCREMENTO						72,2%
43	60	5	7,2	11	50	0,4
44	60	5	6,5	13	58	0,6
45	60	5	7,3	10,5	48	0,4
PROMEDIO						0,5
DES. EST.						0,08
COEF. VAR.						16,88%
31	60	50	6,2	24	87	0,87
32	60	50	7,0	27	97	0,87
33	60	50	5,7	23,5	85	0,93
PROMEDIO						0,89
DES. EST.						0,04
COEF. VAR.						4,12%
% INCREMENTO						90,10%

CUADRO 10. TRACCIÓN INDIRECTA PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm

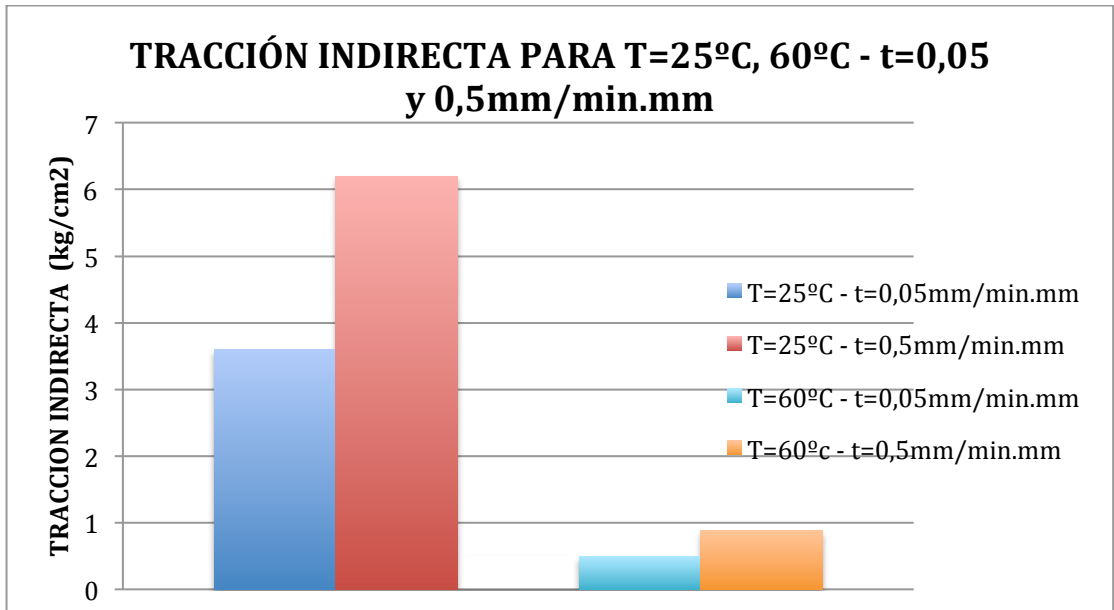


GRÁFICO 8. TRACCIÓN INDIRECTA PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	CARGA (Newton)	R.T.S.C.(MPa)	R.T.S.C.(kg/cm²)
2A	25	2,5	6,3	42	185	1814	1,01	13,7
3A	25	2,5	6,7	41	181	1775	0,93	12,6
3B	25	2,5	6,7	41	181	1775	0,93	12,6
							PROMEDIO	12,93
							DES. EST.	0,63
							COEF. VAR.	4,88%
2B	25	50	6,3	112	383	3754	2,09	28,3
6A	25	50	7,0	99	339	3325	1,67	22,5
5A	25	50	6,6	91	312	3061	1,63	22,0
							PROMEDIO	24,26
							DES. EST.	3,47
							COEF. VAR.	14,32%
							% INCREMENTO	87,66%
7B	60	2,5	7,0	2	10	98	0,05	0,7
8A	60	2,5	7,2	3	14	137	0,07	0,9
9A	60	2,5	7,3	2	10	98	0,05	0,6
							PROMEDIO	0,74
							DES. EST.	0,15
							COEF. VAR.	20,00%
8B	60	50	7,2	7,5	31	304	0,15	2,0
9B	60	50	7,3	7,5	31	304	0,15	2,0
							PROMEDIO	1,99
							DES. EST.	0,02
							COEF. VAR.	0,98%
							% INCREMENTO	170,6%

CUADRO 11. FLEXIÓN SEMICIRCULAR PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm

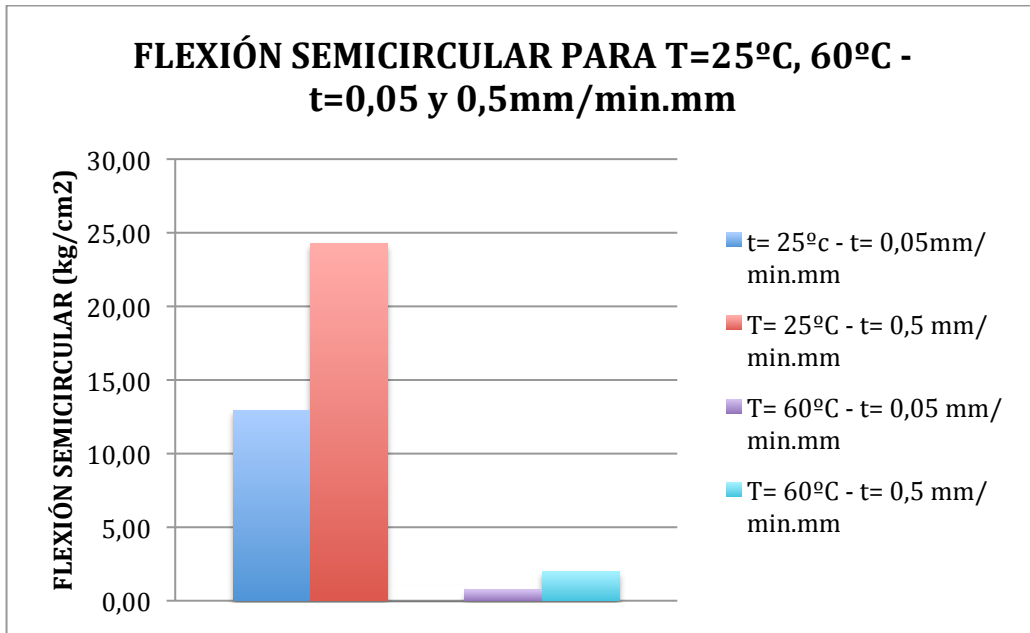


GRÁFICO 9. FLEXIÓN SEMICIRCULAR PARA T=25°C, 60°C - t=0,05 y 0,5mm/min.mm

2.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS PARTE # 2

Como se indicó previamente los ensayos se realizaron en briquetas con un porcentaje de saturación de agua del 60% al 80%, con inmersión por 24 horas a 60°C y luego llevado durante 2 horas a T=40°C para las pruebas a t=0,05mm/min.mm.

Se hicieron además dos análisis de daño en agua recomendadas por el MTOP, de Estabilidad Marshall con probetas saturadas a T=60°C – t=0,5mm/min.mm y Tracción Indirecta a T=25°C – t=0,5mm/min.mm. Para el cálculo de todas las resistencias retenidas se compara las resistencias con inmersión con las resistencias sin inmersión, estas últimas determinadas en la parte # 1.



FOTO 11. ENSAYOS CON BRIQUETAS CON SATURACIÓN DE AGUA DEL 60% AL 80%



FOTO 12. ENSAYOS CON INMERSIÓN

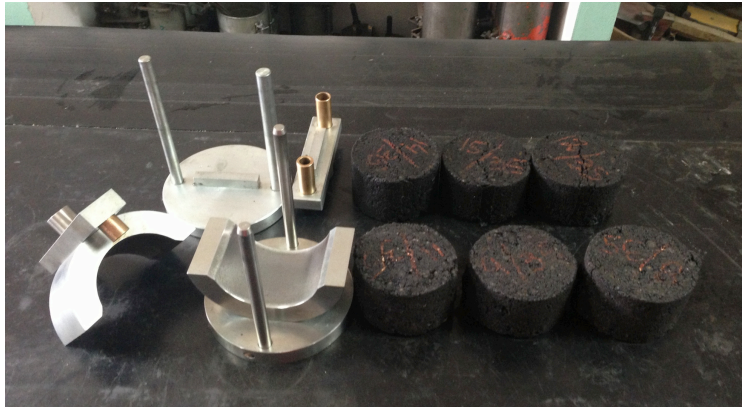


FOTO 13. BRIQUETAS CON INMERSIÓN ENSAYADAS CON CABEZALES MARSHALL Y TRACCIÓN INDIRECTA

ESTABILIDAD MARSHALL

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	F.CORR.	E.M. (kgf)	E.M. (lb)
13	40	5	6,3	140	611	1,04	635	1398
15	40	5	5,8	155	676	1,19	804	1770
20	40	5	6,3	141	615	1,00	615	1353
							CON INMERSION	1507
							DES. EST.	229
							COEF.VAR.	0,15
							SIN INMERSION	1966
							RE. RETENIDA (%):	76,6

CUADRO 12. RESULTADOS DE ESTABILIDAD MARSHALL CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05 mm/min.mm

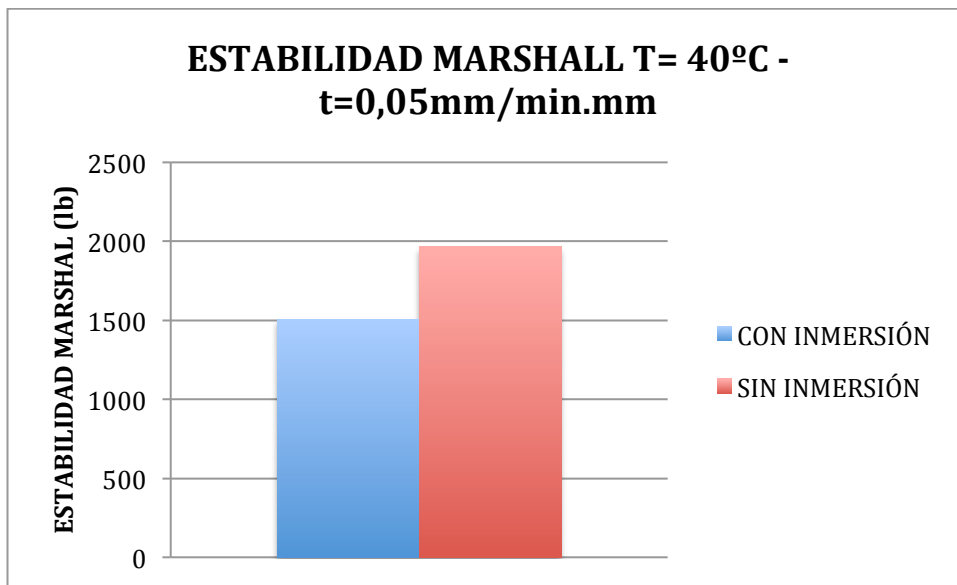


GRÁFICO 10. COMPARACIÓN MARSHALL CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm

COMPRESIÓN SIMPLE

# CILINDRO	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	R.C.S. (kg/cm ²)
17	40	7,5	14,7	35	154	3,4
18	40	7,5	14,9	34	150	3,3
19	40	7,5	15,0	39	172	3,8
CON INMERSION						3,48
DES. EST.						0,26
COEF. VAR.						0,07
SIN INMERSION						9,30
RE. RETENIDA (%):						37,4

CUADRO 13. RESULTADOS DE COMPRESIÓN SIMPLE CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05 mm/min.mm

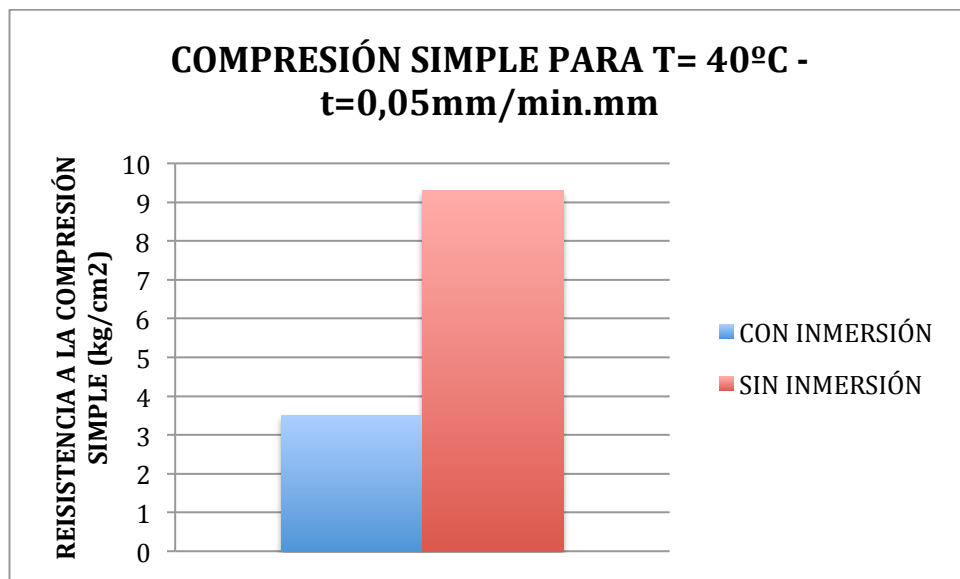


GRÁFICO 11. COMPARACIÓN RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE CON Y SIN INMERSION PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm

TRACCIÓN INDIRECTA

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	T.I. (kg/cm ²)
23	40	5	6,5	20	89	0,9
24	40	5	6,2	19	85	0,9
40	40	5	6,4	19	85	0,8
CON INMERSION						0,85
DES. EST.						0,02
COEF. VAR.						0,02
SIN INMERSION						1,50
RE. RETENIDA (%):						56,6

CUADRO 14. RESULTADOS DE TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05 mm/min.mm

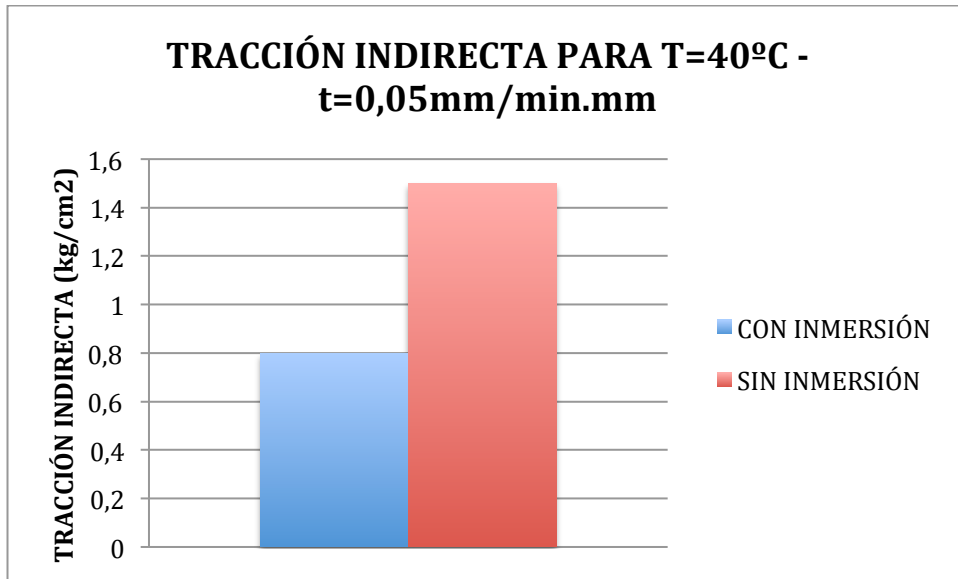


GRÁFICO 12. COMPARACIÓN TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t=0,05mm/min.mm

FLEXIÓN SEMI CIRCULAR

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	CARGA (Newton)	R.T.S.C.(MPa)	R.T.S.C.(kg/cm²)
19A	40	2,5	6,2	8	37	363	0,27	2,8
19B	40	2,5	6,2	9	41	402	0,30	3,1
4B	40	2,5	6,4	14	62	608	0,44	4,5
							CON INMERSION	3,45
							DES. EST.	0,92
							COEF.VAR.	0,27
							SIN INMERSIÓN	3,70
							RE. RETENIDA (%)	93,3

CUADRO 15. RESULTADOS DE FLEXIÓN SEMICIRCULAR CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05 mm/min.mm

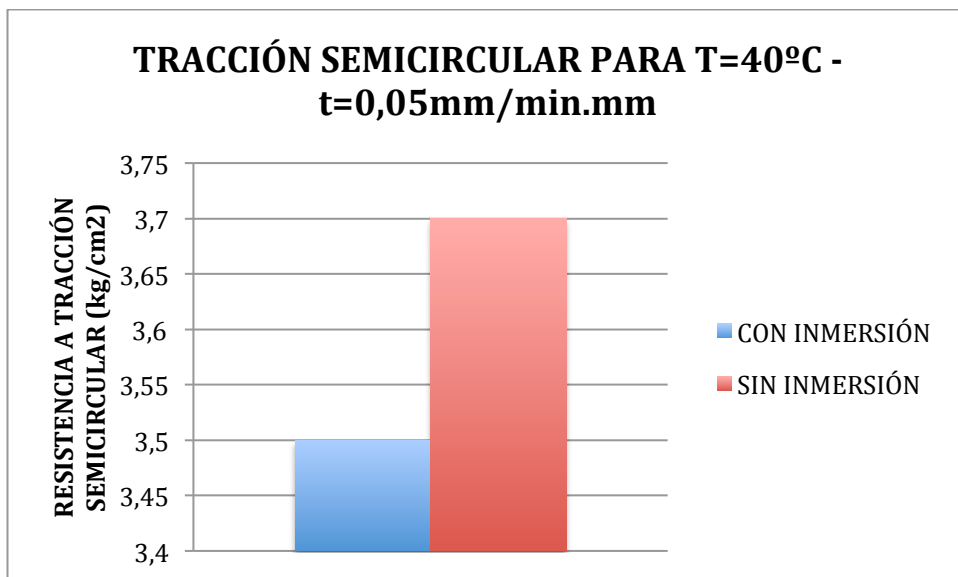


GRÁFICO 13. COMPARACIÓN FLEXIÓN SEMICIRCULAR CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 40°C – t= 0,05mm/min.mm

ESTABILIDAD MARSHALL

MTOP 60 GRADOS Y EN PRENSA MARSHALL (50 mm/min)

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	F.CORR.	E.M. (kgf)	E.M. (lb)
8	60	50	6,5	96	420	0,96	403	887
9	60	50	6,0	82	359	1,09	391	861
11	60	50	6,2	105	459	1,04	477	1050
							CON INMERSION	933
							DES. EST.	103
							COEF.VAR.	0,11
							SIN INMERSION	1448
							RE. RETENIDA (%):	64,4

TRACCIÓN INDIRECTA

MTOP 25 GRADOS Y EN PRENSA MARSHALL (50 mm/min)

# BRIQUETA	T (°C)	t (mm/min)	H (cm)	LECTURA	CARGA (kgf)	T.I. (kg/cm ²)	
12	25	50	6,2	64	281	2,8	
15	25	50	5,9	65	285	3,0	
14	25	50	6,3	85	372	3,7	
						CON INMERSION	3,19
						DES. EST.	0,45
						COEF.VAR.	0,14
						SIN INMERSION	6,20
						RE. RETENIDA (%):	51,4

CUADRO 16. RESULTADOS DE ENSAYO MTOP PARA MARSHALL Y TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 60°C/T= 25°C – t= 0,5 mm/min.mm RESPECTIVAMENTE

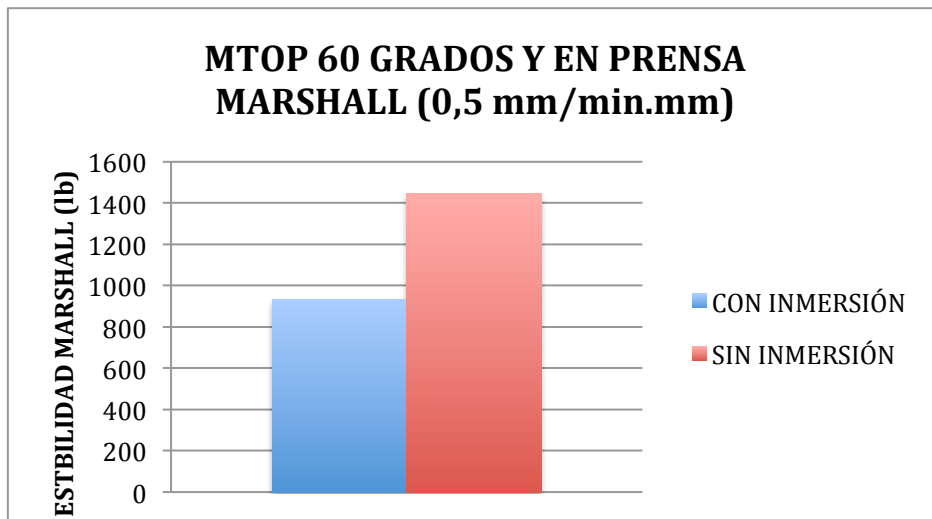


GRÁFICO 14. COMPARACIÓN ENSAYO MTOP MARSHALL CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 60°C – t= 0,5mm/min.mm

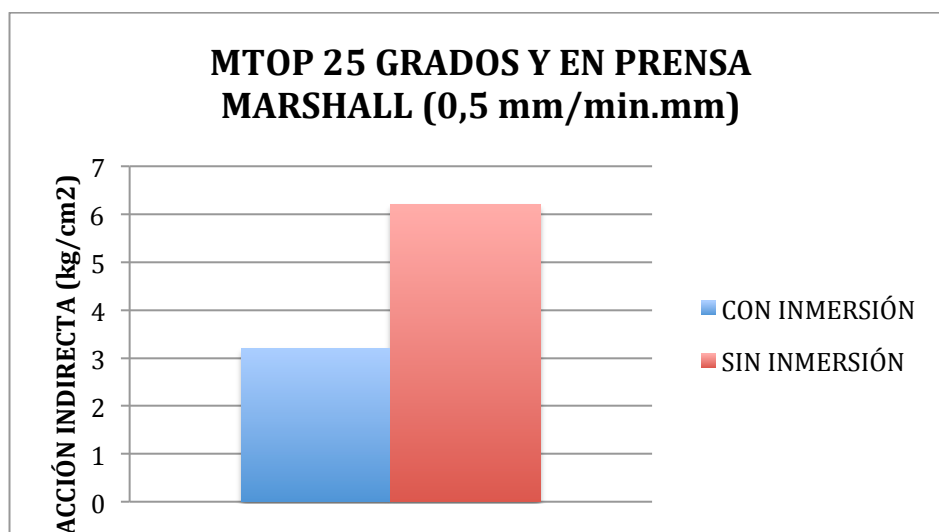


GRÁFICO 15. COMPARACIÓN ENSAYO MTOP TRACCIÓN INDIRECTA CON Y SIN INMERSIÓN PARA T= 25°C – t= 0,5mm/min.mm

De acuerdo a criterios de resistencia de materiales (Wong, W.C. et al, 2004) la cohesión en una mezcla asfáltica pudiera determinarse mediante la expresión:

$$c = \frac{\sqrt{R_c \cdot R_t}}{2}$$

Siendo R_c la resistencia a compresión simple en nuestro caso representada por R.C.S. R_t la resistencia a la tracción que pudiera asumirse como tracción indirecta, en nuestro caso representada por T.I.

Este criterio se considera interesante aplicar empleando los valores de R.C.S. y T.I. calculada a 40°C y t=0,05mm/min.mm con y sin inmersión los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

DETERMINACIÓN DE COHESIÓN A 40°C Y t=0,05mm/min.mm

PROMEDIO	R.C.S. (kg/cm ²)	T.I. (kg/cm ²)	COHESIÓN
SIN INMERSIÓN	9,3	1,5	1,87
CON INMERSIÓN	3,48	0,85	0,86

COHESIÓN RETENIDA	46,00%
-------------------	--------

CUADRO 17. CALCULOS DE COHESIÓN

2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PARTE # 1

Como se puede observar para la primera parte de nuestros ensayos, todas las pruebas coinciden en disminuir su resistencia al incrementar la temperatura, en ensayos con la misma velocidad de aplicación de la carga ($t=0,05\text{mm/min.mm}$). Esto se debe a que la mezcla asfáltica es un material visco-elástico, donde a mayor temperatura el comportamiento se hará mas viscoso.

Los coeficientes de variación para los resultados de cada ensayo son muy aceptables, por debajo del 10%, cuando la velocidad de aplicación de carga es baja ($t=0,05\text{ mm/min.mm}$) y su temperatura es de 25°C y 40°C, ver cuadro 18. Al aumentar la temperatura ($T=60^\circ\text{C}$) con la misma velocidad de aplicación de carga ($t=0,05\text{mm/min.mm}$) todos los ensayos aumentan su coeficiente de variación entre 14% y 20%. Esto significa que entre 40°C y 60°C existe un cambio importante en la rigidez del asfalto por lo que en el desempeño de la mezcla su papel “ligante” disminuye incrementándose la incidencia de los agregados con la trabazón y fricción particular que posea cada briqueta.

COEFICIENTE DE VARIACIÓN VS TEMPERATURA $t= 0,05\text{mm/min.mm}$

PRUEBAS	25°C	40°C	60°C
E.M.	7,79%	8,40%	14,18%
R.C.S.	1,93%	3,70%	16,88%
T.I.	4,08%	3,00%	16,88%
R.T.C.S.	4,88%	3,78%	20,00%

CUADRO 18. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

Al variar la velocidad de aplicación de la carga $t=0,5\text{ mm/min.mm}$ para los ensayos de resistencia a la deformación Marshall y Compresión Simple, se produce a 60°C un incremento de 40% y 53% respectivamente en los resultados promedios. Mientras que, para los ensayos de resistencia, al

fisuramiento (Tracción Indirecta y Flexión Semicircular) el incremento a 25°C fue 72% y 87% respectivamente siendo esto un resultado directo del comportamiento visco-elástico del asfalto.

A velocidad más alta 0,5 mm/min.mm y a 60°C el coeficiente de variación es menor en todas las pruebas, sin embargo, para las pruebas de fisuración y a 25°C el comportamiento del coeficiente de variación es diferente aumentándose su valor en velocidades más altas (t=0,5mm/min.mm).

2.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA PARTE # 2

Para la segunda parte donde se ensayan las probetas a inmersión previa es muy importante alcanzar un grado de saturación del 60% al 80% empleando una bomba de vacíos para así ganar precisión en los resultados. Para todas nuestras probetas se mantuvo un rango de vacíos del 7% +/- 0,5% desechando las muestra que no cumplieron este parámetro, con esto tratamos de limitar la entrada del agua y el daño asociada con ésta. En el cuadro 19 se resumen las resistencias retenidas:

RESISTENCIA RETENIDA T=40°C - t= 0,05mm/min.mm

ENSAYO	RESISTENCIA RETENIDA (%)	T (°C)
E.M.	76,6	40
R.C.S.	37,4	40
T.I.	56,6	40
R.T.S.C.	93,3	40

CUADRO 19. RESISTENCIA RETENIDA CON INMERSIÓN

Tanto en la resistencia a la deformación como a la fisuración las dos pruebas realizadas en cada caso muestran resultados muy diferentes entre si, lo que implica que el tipo de prueba tiene un importante significado en el resultado y en los valores a exigir de ser el caso. Estas diferencias para el caso de las pruebas E.M., T.I., y prueba Cántabro ya habían sido señaladas por algunos autores (Vila, 2007).

Para los ensayos de resistencia en la deformación la Estabilidad Marshall tiene un mayor resultado al retener 76,6% de la resistencia del ensayo sin inmersión; mientras que para los ensayos de resistencia a la fisuración se aprecia que la Resistencia a la Flexión Semicircular es la que arroja el mayor porcentaje de resistencia retenida con un 93,3%.

Al realizar las pruebas exigidas por las normas MTOP para Estabilidad Marshall y Tracción Indirecta a $t=0,5$ mm/min.mm, se observa que la resistencia retenida en el caso de la Tracción Indirecta a 25°C no difiere sustancialmente de la determinada a 40°C, mientras la Estabilidad Marshall, a 60°C tiene mayor variación. Ver cuadro 20.

RESISTENCIA RETENIDA T=40°C/T=60°C - $t= 0,5$ mm/min.mm

ENSAYO	RESISTENCIA RETENIDA (%)	T(°C)
E.M.	64,4	60
T.I.	51,4	25

CUADRO 20. RESISTENCIA RETENIDA CON INMERSIÓN PRUEBAS MTOP

Al comparar la cohesión retenida del cuadro 17, de acuerdo al criterio expresado, se observa que el valor retenido de 46,0% no coincide con ninguno de los valores de resistencia retenida determinadas a 40°C y $t=0,5$ mm/min.mm, encontrándose entre los valores de resistencia retenida para la R.C.S. y la T.I. que son precisamente parámetros de cálculo en la expresión para hallar la cohesión.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 CONCLUSIONES

Generalmente en nuestro país se considera fundamentalmente en el control de calidad a la Estabilidad Marshall, sin considerar otros parámetros de la mezcla. Por este motivo se llevó a cabo este trabajo de investigación que admite ensayos adicionales para el control de las técnicas actuales.

Para un tiempo de aplicación de carga común de $t=0,05$ mm/min.mm para todas las pruebas el coeficiente de variación se ha incrementado al aumentar la temperatura de 25°C a 60°C. Entre 40°C y 60°C el ritmo de incremento se hace considerablemente mayor.

El incremento del tiempo de aplicación de carga a 0,5 mm/min.mm produce incrementos notables en todos los parámetros resistentes medidos que van entre 40% y 87% a las temperaturas de 60°C en los ensayos de resistencia a la deformación y de 25°C para la resistencia a fisuramiento.

Bajo estos criterios surge la duda si la determinación convencional de la Estabilidad Marshall a 60°C, que es una temperatura máxima de trabajo en capas asfálticas de pavimento, es la condición ideal para este ensayo. Ya que, sin dudas, el empleo de una temperatura de 40°C le daría un mejor coeficiente de variación. De igual forma el empleo de tiempo de aplicación de cargas menores con $t=0,05$ mm/min.mm (valor usual para triaxiales) permitirá una mejor respuesta estructural.

Se considera de interés incluir en los controles de calidad una prueba simple para evaluar la resistencia a la fisuración. En este caso se sugiere el empleo de la prueba de tracción indirecta que muestra mayor precisión en sus resultados de coeficiente de variación y con la cual se tiene mucha más experiencia que la prueba de flexión semicircular. La realización de la

prueba de tracción indirecta a 25°C podría ser una buena opción. Se considera que su desarrollo a un $t=0,05$ mm/min.mm sería mas conveniente. La determinación del daño en agua, partiendo de considerar una prueba de resistencia a la deformación o una prueba de resistencia a la fisuración, arroja resultados muy diferentes, por lo que hay que tener mucho cuidado y ajustar las exigencias de emplearse por ejemplo una prueba de estabilidad Marshall o una prueba de tracción indirecta para esta evaluación, más allá del empleo de temperaturas convenientes para cada caso.

Finalmente, en general pudiera calcularse la ansiada pérdida de cohesión ante el agua conociendo la resistencia a compresión y la tracción indirecta de acuerdo a la teoría de resistencia de materiales. Esta pérdida de cohesión no corresponde ni a la pérdida de resistencia obtenida por la tracción indirecta ni a la pérdida de resistencia mediante la compresión simple o en su caso la estabilidad Marshall.

3.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar sobre el efecto de la compactación por impacto o por presión en el caso de utilizarse briquetas Marshall o cilindros para compresión.

Es muy importante que todas las probetas a ensayar tengan un porcentaje de vacíos entre 6.5% a 7.5% correspondiente al máximo permitido para un nivel de compactación del 97%, porcentaje que constituye la exigencia mínima de compactación en obra.

Para las pruebas con inmersión es recomendable alcanzar cierto grado de saturación empleando una bomba de vacíos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

The Asphalt Handbook. Lexington: Asphalt Institute.

ASTM D 6927-06. Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures. U.S.A.

ASTM D 1074-96. Standard Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures. U.S.A.

E.R. Brow, P.S. Kandhal. (2001) Performance Testing for Hot Mix Asphalt. Auburn University

ASTM D 6931-12. Standard Test Method for Indirect Tensile Strength of Bituminous Mixtures. U.S.A.

Lubinda F. Walubita, Vivekram Umashankar, Xiaodi Hu, Brandon Jamison, Fujie Zhou, Tom Scullion, Amy Epps Martin, and Samer Dessouky. (2010). New Generation MIX-DESIGNS: Laboratory Testing and Construction of the APT Test Sections. Austin, Texas

M. Arabani, B. Ferdowsi. (2008). Evaluating the Semi-circular Bending Test for HMA Mixtures. SID. University of Gilan

MTOP, 2002. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. Quito, Ecuador.

Wong, W.C., Yang, Q., Wang, K. (2004) Performance-Based Mixture Design of Asphalt Treated Base. Journal of the Institution of Engineers. Vol. 44 Issue 2. Singapore.

R. Vila. (2007). Criterios para Mejorar los Controles Rutinarios de Calidad a las Mezclas Asfálticas. XIV CILA.

5. ANEXOS

	CILINDRO HUECO	MORDAZA	SOPORTE INFERIOR	SOPORTE SUPERIOR
<p>NOTA: Las unidades están en metro (m)</p>				
TÍTULO: Evaluación de Mezclas Asfálticas con Pruebas Simples para el Mejoramiento del Control de Calidad				
CONTENIDO: Medidas para la Elaboración de Muestras para la Prueba de Compresión Simples, sin Confinamiento Lateral				
AUTOR: Julio Terrán Olmedo				
TUTOR: Ing. Rolando Vila Romani Ph. D.				
LÁMINA: 1				