



# **UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERIA

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Grado

Previo a la obtención del Título de

**INGENIERO CIVIL**

Tema:

**ANALISIS COMPARATIVO DE LOS MODULOS  
RESILIENTES, ENTRE MEZCLAS FRIAS Y MEZCLAS  
CALIENTES.**

Realizado por:

MARCO ARMIJO VERDEZOTO

Director:

ING. GUSTAVO GARCIA CAPUTI

MARZO – 2010

# **Trabajo de Grado**

Tema:

*Análisis comparativo de los Módulos Resilientes,  
entre mezclas frías y mezclas calientes.*

Presentado por:

Marco Armijo Verdezoto

*Para poder cumplir con uno de los requisitos previo a la obtención del título  
de:*

**INGENIERO CIVIL**

*Tribunal de sustentación:*

Ing. Gustavo García Caputi.

Director de Trabajo de Grado

Ing. Claudio Luque Rivas.

Profesor invitado

Ing. Walter Mera.

Decano de la Facultad

Ing. Lilia Valarezo M.

Directora de la Carrera

## **DEDICATORIA**

*A JESUS, porque sin él no hubiese sido posible realizar este trabajo.*

*A mis padres: Cesar Armijo Mora y Elisa Verdezoto García, que siempre estuvieron a mi lado, confiando en mí, apoyándome incondicionalmente en todo este proceso de sacrificio y progreso personal, cumpliendo con las metas trazadas y transformando estos ideales de llegar a ser un Ingeniero, en realidad.*

*A mi esposa Angelina Valeria por estar conmigo en todo momento, dándome fuerzas para seguir adelante en este camino, siendo comprensiva y atendiendo las diversas necesidades que surgieron en nuestra familia, cuidando de nuestro hijo, el tiempo que no estuve presente.*

*A mi hijo Marco Andrés porque es el amor de vida y el motivo más grande de superación personal, sacrificando horas hermosas de estar junto a él, en su crecimiento y desarrollo; para así poder brindarle todo lo necesario en esta vida*

*A mis hermanos: Tania, Iván y María Elisa, ya que sin ayuda de ellos no hubiese podido resolver ciertos problemas, por facilitarme las herramientas para poder cumplir con las exigencias que demanda la vida; por estar siempre a mi lado y deseando lo mejor para mí.*

*Y a toda mi familia, amigos, por estar conmigo y por el apoyo brindado, sin esperar nada a cambio.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Mis sinceros agradecimientos:*

*A mi director de Trabajo de Grado, Ing. Gustavo García C. por brindarme todo su conocimiento y apoyo desinteresado en la realización de este proyecto, y así mismo confiar en mí y en el desarrollo del ejercicio profesional.*

*A la Compañía Concretos y Prefabricados y las personas que laboran allí, por permitirme el uso de las instalaciones del laboratorio y todos los implementos para la elaboración de los ensayos de este proyecto.*

*A la Universidad Católica, por facilitarme las instalaciones del laboratorio de asfalto y el personal que labora por el apoyo en la realización de los ensayos correspondientes.*

*Y a todas las demás personas involucradas en este proyecto de vida, sin esperar nada a cambio.*

*A TODOS UDS... MUCHAS GRACIAS..!!*

## **INDICE**

	<i>Pág</i>
<i>Dedicatoria.....</i>	<i>I</i>
<i>Agradecimiento.....</i>	<i>II</i>

## **CONTENIDO**

<i>Introducción.....</i>	<i>1</i>
<b>Capítulo 1</b>	
1.1 <i>Antecedentes.....</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Objetivos.....</i>	<i>5</i>
1.3 <i>Alcance.....</i>	<i>6</i>
<b>Capítulo 2            Emulsiones Asfálticas</b>	
2.1 <i>Historia.....</i>	<i>8</i>
2.2 <i>Usos principales.....</i>	<i>9</i>
2.3 <i>Composición de las Emulsiones Asfálticas.....</i>	<i>10</i>
2.4 <i>Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....</i>	<i>11</i>
2.5 <i>Propiedades de las Emulsiones Asfálticas.....</i>	<i>13</i>
2.6 <i>Componentes de la Emulsión.....</i>	<i>14</i>
2.7 <i>Variables que afectan la Calidad y la Performance.....</i>	<i>17</i>
2.8 <i>Rotura y Curado.....</i>	<i>17</i>
2.8.1 <i>Rotura.....</i>	<i>17</i>
2.8.2 <i>Curado.....</i>	<i>18</i>
2.9 <i>Factores que afectan la Rotura y el Curado.....</i>	<i>18</i>
<b>Capítulo 3            Diseño de Mezclas con Emulsiones</b>	
3.1 <i>Usos principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas.....</i>	<i>22</i>
3.2 <i>Mezclas con Emulsiones Asfálticas.....</i>	<i>22</i>
3.3 <i>Diseño de Mezclas Cerradas.....</i>	<i>23</i>
3.3.1 <i>Determinación del contenido tentativo de Emulsión.....</i>	<i>24</i>

3.4	<i>Ensayo de Recubrimiento y Adherencia.....</i>	26
3.4.1	<i>Procedimiento del ensayo de recubrimiento.....</i>	26
3.4.2	<i>Procedimiento del ensayo de adherencia.....</i>	27
3.5	<i>Preparación de los Especímenes de Ensayo.....</i>	28
3.5.1	<i>Procedimiento de mezclado.....</i>	28
3.5.2	<i>Procedimiento de compactación.....</i>	29
3.6	<i>Ensayo de los Especímenes Compactados.....</i>	31
3.6.1	<i>Parámetros volumétricos.....</i>	31
3.6.2	<i>Ensayo de estabilidad.....</i>	32

#### **Capítulo 4                    Diseño de Mezclas con Reciclado**

4.1	<i>Tipos de Reciclado.....</i>	35
4.1.1	<i>Fresado en Frío (Cold planing).....</i>	35
4.1.2	<i>Reciclado en caliente.....</i>	35
4.1.3	<i>Reciclado en caliente in situ.....</i>	36
4.1.4	<i>Reciclado en frío.....</i>	36
4.2	<i>Pavimentos indicados para reciclado.....</i>	38
4.3	<i>Ventajas del reciclado.....</i>	39
4.4	<i>Diseño de Mezclas para reciclado.....</i>	40
4.4.1	<i>Determinación del contenido tentativo de Emulsión.....</i>	41
4.5	<i>Ensayo de Recubrimiento y Adherencia.....</i>	43
4.5.1	<i>Procedimiento del ensayo de recubrimiento.....</i>	43
4.5.2	<i>Procedimiento del ensayo de adherencia.....</i>	44
4.6	<i>Preparación de los Especímenes de Ensayo.....</i>	45
4.6.1	<i>Procedimiento de mezclado.....</i>	45
4.6.2	<i>Procedimiento de compactación.....</i>	46
4.7	<i>Ensayo de los Especímenes Compactados.....</i>	48
4.7.1	<i>Parámetros volumétricos.....</i>	48
4.7.2	<i>Ensayo de estabilidad.....</i>	49

<b>Capítulo 5</b>	<b>Método de Diseño Marshall</b>	
5.1	Antecedentes.....	51
5.2	Propósito.....	52
5.3	Equipos empleados.....	53
5.4	Briquetas.....	54
5.5	Temperatura de Mezclado.....	54
5.6	Compactación de las muestras.....	54
5.7	Ensayos para determinar relaciones volumétricas.....	55
5.8	Metodología de ensayos.....	56
5.9	Gráfico de resultados.....	57
5.10	Relaciones y Observaciones de los Resultados.....	59
5.11	Determinación del contenido Óptimo de asfalto (Emulsión).....	59
5.12	Verificación de Criterios de Diseño.....	60
<b>Capítulo 6</b>	<b>Equipo N.A.T (NOTTINGHAM ASPHALT TESTER)</b>	
6.1	Partes del equipo.....	63
6.2	Control de temperatura de ensayos.....	67
6.3	Software de calibración.....	68
6.4	Software de ensayos.....	69
<b>Capítulo 7</b>	<b>Comportamiento Dinámico de la mezcla</b>	
7.1	Introducción.....	72
7.2	Antecedentes.....	73
7.3	Evaluación de las Propiedades Dinámicas de la Mezcla.....	73
	7.3.1 Ensayo Módulo Dinámico.....	74
	7.3.2 Ensayo de Tracción Indirecta.....	74
<b>Capítulo 8</b>	<b>Diseños Realizados</b>	
8.1	Diseño de Mezcla óptima con Emulsión y Agregados vírgenes.....	81
8.2	Diseño de Mezcla óptima con Emulsión y agregados reciclados.....	86

8.3	<i>Diseño de Mezcla óptima con Diluido SC-250.....</i>	91
8.4	<i>Interpretación de resultados.....</i>	95
8.4.1	<i>Emulsión 9,6% y agregados vírgenes.....</i>	95
8.4.2	<i>Emulsión 6.5% (peso sobre árido) y agregado reciclado.....</i>	95
8.4.3	<i>Diluido SC-250 y agregado premezclado.....</i>	96
<b>Capítulo 9</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	
9.1	<i>Conclusiones.....</i>	101
9.2	<i>Recomendaciones.....</i>	102
<b>Anexos.....</b>		103
<b>Apéndices.....</b>		118
<b>Bibliografía.....</b>		133



## **INTRODUCCION**

La vida de los caminos parece estar sometida a un ciclo inexorable de construcción, conservación insuficiente, degradación, destrucción y reconstrucción. Siendo la causa principal de este proceso costoso y pernicioso, la falta de conservación.

Hacia varios años se determinó que la tendencia apunta directamente hacia el deterioro progresivo de las redes viales debido a las crisis económicas que atravesamos los países Latinoamericanos. Según los estados en que se encuentran los caminos se los puede clasificar en: caminos destruidos, caminos en estado crítico, caminos en proceso acelerado de destrucción y desgaste, y caminos en buen estado.

Actualmente las carreteras se diseñan para un determinado número de años y se construye en base a los ejes equivalentes. El trabajo de la entidad encargada de construir la carretera no consiste en concluir la misma, sino en hacer el respectivo seguimiento, que consiste en revisar periódicamente cada tramo de la vía y asegurarse que tenga un buen comportamiento; en muchos casos nos encontramos en la carretera con defectos estructurales y no estructurales.

Entre los defectos no estructurales (los que no implican directamente a la carga), mas generales tenemos:

- Desprendimiento de la capa de rodadura (oxidación)
- Fisuras de contracción (temperatura).

Estos efectos se producen por falta de mantenimiento y limpieza en los drenajes y espaldones de la vía; pudiéndose controlar realizando riegos adecuados (lechadas asfálticas) con morteros asfálticos o añadiendo una carpeta asfáltica que puede variar de 1, 2 o 3 pulgadas, dependiendo del uso de la carretera.

Los defectos más destructivos son los estructurales por cuanto están relacionados directamente con la aplicación de la carga, entre ellos tenemos:

- Deformaciones longitudinales.
- Deformaciones transversales.

Estos tipos de defectos pueden ser prevenidos con una buena selección de mezcla asfáltica fría y así mismo controlarlos mediante reforzamientos, rehabilitaciones o reconstrucciones.



# CAPITULO 1

**Antecedentes – Objetivos - Alcance**



## CAPITULO 1

### **1.1 Antecedentes**

Como es de conocimiento general, un concreto asfáltico en caliente convencional es una mezcla de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico, son calentados individualmente entre 130 y 160°C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactadas en caliente.

Son mezclas cuidadosamente elaboradas y compactadas para lograr una elevada densificación y bajo porcentaje de vacíos, consideradas como las de mejor calidad entre las mezclas asfálticas en caliente, con excelentes propiedades de estabilidad, durabilidad y flexibilidad. Basados en este concepto y dada su similitud, definimos las mezclas asfálticas en frío tipo concreto, como las constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos y un relleno mineral (filler), de ser necesario, con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío (condiciones ambientales).

Si bien el ligante puede ser precalentado hasta no más de 60°C, el resto de las operaciones, como queda expresado, se llevan a cabo a temperatura ambiente. Los agregados pétreos no requieren secado ni



calentamiento, es decir, que se los emplea tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural. Estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta central destinada a la elaboración de las mezclas caliente, prescindiendo para ello del sistema de calefacción para el secado de los áridos y el calentamiento y circulación del asfalto.

Igualmente es posible la preparación in situ, es decir, sobre la misma calzada donde va a ser aplicada, para lo cual se utilizarán maquinarias y equipos más simples como son las moto niveladoras y mezcladoras livianas de una sola pasada, tipo moto pavimentadora, etc. Las mezclas en frío con emulsiones catiónicas o con asfaltos diluidos al solvente presentan un amplio margen para su elaboración en relación con las mezclas convencionales en caliente.

En primer término porque el ligante emulsión es más adaptable a los agregados pétreos locales con elevado contenido de finos de difícil eliminación y en segundo lugar, porque pueden ser mezclados durante un tiempo más prolongado. En cambio, el mezclado en caliente es una operación que se ve limitada en ese aspecto, para evitar el enfriamiento de la mezcla antes de su compactación.

La decisión del uso de una u otra mezcla, en cada caso particular, dependerá del cotejo técnico-económico, de la magnitud y lugar de emplazamiento de la obra, del tránsito, condiciones climáticas reinantes, etc.

Estas mezclas en frío son utilizadas, generalmente como capas de rodamiento, de base o sub.-base.



## 1.2 Objetivos

El objetivo principal es de establecer las diferencias y similitudes de estas mezclas frías en relación a las mezclas calientes, al medir sus módulos dinámicos por medio de tracción indirecta, así como su respectiva deformación plástica.

Estas mezclas asfálticas serán diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en los Manuales, Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa (cerradas). Esto es asumiendo el mismo procedimiento del diseño y realizando los diferentes ensayos para establecer las condiciones de similitud.

Proponer y dar a conocer una solución apropiada y a su vez económica, como la utilización de las mezclas en frío, para el mantenimiento y conservación de las calzadas.



### **1.3 Alcance**

En este trabajo se realizarán varios ensayos en las instalaciones de la Cantera Concretos y Prefabricados, obteniendo diversos testigos, sometiéndolos a diversas pruebas y cambiando los diferentes porcentajes de emulsión; así se determinará los respectivos diseños de mezclas frías óptimas, para la construcción de carpetas, realizar el bacheo asfáltico y así mismo las mezclas de reciclado; dicho diseño que a su vez se generará de acuerdo a parámetros que obtenemos de las propiedades mecánicas en mezclas calientes; para así poder obtener las similitudes y/o diferencias, si las tienen y compararlas.

Mediante el ensayo Marshall se obtendrá el contenido óptimo de emulsión asfáltica, prueba de estabilidad, relación de vacíos y análisis de densidad, y la resistencia a la deformación plástica y variables del Módulo Dinámico por ensayo de Tracción indirecta para determinar la resistencia a la tracción y determinar el flujo plástico, para un determinado tipo de mezcla.



# CAPITULO 2

## **Emulsiones Asfálticas – Descripción**



## **CAPITULO 2**

### **2.1 Historia**

Las emulsiones fueron desarrolladas por primera vez a comienzos del siglo XX. Fue en los años 20 cuando su uso se generalizó a las aplicaciones viales. Inicialmente se utilizaron en aplicaciones de riego y como paliativos del polvo.

El uso de las emulsiones asfálticas creció de manera relativamente lenta, limitado por el tipo de emulsiones disponibles y por la falta de conocimientos sobre su correcta aplicación. El desarrollo ininterrumpido de nuevos tipos y grados, sumados a equipos de construcción y prácticas mejoradas, ofrece ahora una amplia gama de elección. La selección y el uso juicioso pueden resultar en *sustanciales beneficios económicos y ambientales*.

En 1930 y mediados de 1950, hubo un lento pero firme incremento en el volumen de emulsiones utilizadas. En los años siguientes a la Segunda Guerra mundial, el volumen y las cargas de tránsito crecieron a tal punto que los ingenieros viales comenzaron a reducir el empleo de emulsiones asfálticas. En cambio, mientras el volumen de cemento asfáltico empleado ha crecido enormemente desde 1953,



el uso en conjunto de otros productos asfáltico se ha mantenido casi constante. Pero ha habido un firme aumento en el volumen de emulsiones asfálticas.

## 2.2 Usos principales de las Emulsiones Asfálticas

Tratamientos de Superficie	Reciclado de Asfalto	Otras Aplicaciones
Riego pulverizado	Frío in-situ	Estabilización (suelo y base)
Sellado con arena	Full depth	Riegos de liga
Lechadas	En planta central	Bacheo de mantenimiento
Micro aglomerado		Paliativos del polvo
“Cape Seal”		Riegos de imprimación
		Sellado de fisuras
		Recubrimientos de protección

**Tabla 2.2.1 Usos principales de las emulsiones**

**Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas – Pg. 1**

Subsecuentemente, varios factores han contribuido al interés en el uso de emulsiones asfálticas:

- La crisis energética de los años 70. El embargo de petróleo del medio oriente indujo a tomar medidas de conservación de la energía. Las emulsiones asfálticas no requieren la incorporación de un solvente de petróleo para ser líquidas. Además las emulsiones asfálticas pueden utilizarse en la mayoría de los casos sin necesidad de calentamiento. Ambos factores contribuyen al ahorro de energía.
- Preocupación para reducir la polución atmosférica. Las emulsiones asfálticas eliminan hacia el ambiente poco o nada de sustancias hidrocarbonadas.
- La capacidad de ciertos tipos de emulsiones de recubrir las superficies de agregados húmedos. Esto reduce las necesidades de combustible para calentar y secar los agregados.
- La disponibilidad de una variedad de tipos de emulsión. Se han desarrollado nuevas formulaciones y técnicas de laboratorio



mejoradas con el fin satisfacer los requerimientos de diseño y construcción.

- La posibilidad de utilizar materiales en frío en lugares remotos.
- La aplicabilidad de emulsiones en mantenimiento preventivo de pavimentos, incrementado la vida útil de pavimentos existentes ligeramente deteriorados.

Dos factores principales, conservación de la energía y polución atmosférica, impulsaron el uso de emulsiones asfálticas en aplicaciones en las que se empleaban típicamente asfaltos diluidos.

### 2.3 Composición de las Emulsiones Asfálticas



**Foto 2.3.1 Composición de una emulsión**

Una emulsión asfáltica es una dispersión de asfalto en agua, esto se logra mediante la acción de **un agente emulsificante**. En algunas ocasiones, las emulsiones pueden contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, polímeros, mejoradores de adherencia, o agentes de control de rotura.

Es bien sabido que el agua y el asfalto no se mezclan, pero en condiciones cuidadosamente controladas se logra una dispersión estable, utilizando equipos de alta especialización y aditivos químicos. Mezclar agua y asfalto es una tarea similar a la del mecánico que intenta lavar, solo con agua, sus manos engrasadas.

Para evitar que las esferas de asfalto no se unan entre sí es necesario que la emulsión contenga un agente emulsificante, que se haya disuelto en la fase acuosa. Para fines explicativos cabe imaginar que



los aditivos contenidos en el agua forman una especie de película protectora alrededor de la esfera de asfalto emulsificado.

Algunos de los mismos principios físicos se aplican a la formulación, producción y usos de las emulsiones asfálticas. El objetivo es lograr una dispersión estable del cemento asfáltico en el agua – suficientemente estable para ser bombeada, almacenada durante tiempo prolongado, y mezclada. Más aún, la emulsión deberá “romper” rápidamente tras entrar en contacto con el agregado en un mezclador o tras ser distribuida sobre la cancha – “rotura” es la separación del agua del asfalto. Al curar, el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, la durabilidad y la resistencia al agua propias del cemento asfáltico con la cual fue elaborado.

## 2.4 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

Según la característica que iónicas que el emulsificante proporciona a las partículas de asfalto, las emulsiones se clasifican en tres categorías: *aniónica*, *catiónica* y *no aniónica*. En la práctica, las dos primeras son las más ampliamente utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras.

Las no aniónicas pueden ganar gran importancia a medida que la tecnología de emulsiones avance. Las denominaciones aniónica y catiónica se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto.

**Emulsión Aniónica.**- cuando el emulgente confiere cargas negativas a la superficie de los glóbulos de asfalto, entonces estas migran al ánodo. Aunque fue el primer tipo de emulsión asfáltica para carreteras, su desarrollo se ha limitado debido a su escasa adhesividad y resistencia al desplazamiento que exhiben frente a ciertos agregados y que se rompen fundamentalmente por evaporación.

**Emulsión Catiónica.**- cuando el emulgente se encuentra con partículas de asfalto cargadas positivamente, dichas partículas migran hacia el cátodo.

En el caso de **emulsiones no aniónicas**, las partículas de asfalto son eléctricamente neutras, y no emigran a polo alguno.

**Una segunda clasificación** de las emulsiones se basa en la velocidad con la que las gotitas de asfalto coalescen, esto es, se juntan restaurando el volumen del cemento asfáltico son:



RS (*rapid-setting, rotura rápida*),

MS (*medium-setting, rotura media*)

SS (*slow-setting, rotura lenta*)

QS (*quick-setting, rotura controlada QS*)

Estos términos han sido adoptados para simplificar y normalizar esta clasificación.

Según las especificaciones de ASTM y AASHTO, las emulsiones se identifican con números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y la consistencia de la base de cemento asfáltico.

La letra “C” adelante, identifica a una emulsión catiónica. La ausencia de la “C” identifica a las emulsiones aniónicas.

Los números indican la viscosidad relativa de la emulsión.

La letra “h” incluida en algunos términos, indica que la base asfáltica es más consistente (o dura, hard) y la letra “s” indica que la base es más blanda (soft).

En este trabajo se utilizó las emulsiones asfálticas de tipo catiónico de rotura lenta, que corresponden a la de mayor uso en la construcción y mantenimiento vial, en razón corresponden a las de mayor espectro de aplicación. El desarrollo de este tipo de emulsiones ha sido notable, estimándose que en la actualidad más de un 85% de las emulsiones asfálticas que se producen a nivel mundial son de este tipo.

En las emulsiones asfálticas catiónicas, las partículas de asfalto se encuentran rodeadas por cargas eléctricas positivas, que migrarán al cátodo cuando se hace fluir una corriente eléctrica a través de la emulsión. El factor anterior permite que estas emulsiones presenten una buena adherencia con agregados pétreos cargados negativamente.

La rotura de la emulsión, o separación definitiva entre las fases asfalto-agua, constituye un factor decisivo en el momento de su aplicación en obra. En este caso las emulsiones asfálticas catiónicas, cuya velocidad de rotura no está condicionada a las situaciones climáticas sino fundamentalmente a fenómenos de atracción iónica entre las cargas del asfalto y de la superficie del agregado.

Las emulsiones asfálticas de rotura rápida, tienden a romperse tan pronto entran en contacto con los agregados, no siendo por lo tanto apropiadas para la elaboración de mezclas.



Las emulsiones de rotura media, cubren adecuadamente agregados con muy bajo o nulo contenido de finos y resultan especialmente apropiadas para la fabricación de mezclas abiertas almacenables, cuando dentro de sus componentes se encuentra un solvente.

Las **emulsiones de rotura lenta**, que se empleó en este trabajo, tiene la capacidad de cubrir agregados que presentan un alto contenido de finos, requiriéndose generalmente a la presencia de agua para favorecer la dispersión de la emulsión.

## 2.5 Propiedades de las Emulsiones Asfálticas

Cualquiera que sea el tipo y grado de las emulsiones asfálticas, debe satisfacer los requerimientos de: viscosidad, cohesividad, adhesividad y estabilidad que exija el propósito para el cual fue formulada.

### VISCOSIDAD

Está definida como la resistencia al desplazamiento de los glóbulos de asfalto, a una temperatura determinada, es una propiedad de gran importancia que determina su facilidad de aplicación, ya que afecta el comportamiento durante el rociado de la misma, determina su escurrimiento de la superficie de la carretera o de las mezclas e influye sobre las características de sedimentación y rotura. La viscosidad está altamente influenciada por factores como:

- **Tamaño de partícula y distribución granulométrica:** cuando más se acerque el tamaño de los glóbulos de asfalto al tamaño medio de la emulsión y a medida que el tamaño sea menor, la emulsión se hace más viscosa. Estas dos propiedades dependen a su vez de las características de la turbina, la temperatura de las fases, tipo y concentración de emulgente y pH de la fase acuosa.
- **Contenido de asfalto:** Hasta concentraciones del 60% aproximadamente, la viscosidad aumenta gradualmente, así mismo a partir de este punto la viscosidad aumenta mucho más rápido hasta llegar a un punto en que la emulsión se hace inversa, es decir, de agua a asfalto.
- **Viscosidad de la fase acuosa:** La cual a su vez depende de la naturaleza del emulgente empleado en la fabricación.
- **Temperatura:** Presencia de sales en el asfalto, etc.



## **COHESIVIDAD**

Se encuentra íntimamente ligada a la viscosidad y es función de la temperatura. Se define como la resistencia al corte que ofrece el ligante o asfalto base de la emulsión. Esta propiedad es inicialmente baja pero aumenta a medida que se produce la rotura.

## **ADHESIVIDAD**

Es una de las propiedades más significativas que debe ser considerada. Se define como la capacidad que tiene un ligante para desplazar el agua de la superficie del agregado y envolverlo. Una vez cubierto su resistencia, para no dejarse desplazar por el agua o la acción del tráfico, constituye la adhesividad pasiva.

## **2.6 Componentes de la Emulsión**

Para comprender porque las emulsiones asfálticas funcionan como funcionan, es esencial examinar el papel de los tres principales constituyentes – asfalto, agua y emulsivo.

### **Asfalto**

El cemento asfáltico es el elemento básico de la emulsión asfáltica y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y 75% de la emulsión. La química del asfalto es una materia compleja, y no es necesario, para el caso, examinar todas las propiedades del cemento asfáltico.

Algunas propiedades del cemento asfáltico si afectan significativamente la emulsión final. Sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto puede ser emulsionado. Si bien la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones son hechas con asfaltos con un rango de penetraciones 60-250.

En ocasiones, las condiciones climáticas pueden requerir una base asfáltica más dura o más blanda. En cualquier caso, la compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

El asfalto proviene principalmente de la refinación del crudo del petróleo. El asfalto está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos, y su composición química es variada. La estructura coloidal del asfalto depende de la naturaleza química y del porcentaje de moléculas de hidrocarburos, y de la relación entre éstas. Las



variadas propiedades químicas y físicas del asfalto, se deben esencialmente a las variaciones en las fuentes del crudo y en los métodos de refinación. Naturalmente, las propiedades del cemento asfáltico afectarán el comportamiento del residuo asfáltico en el camino.

La compleja interacción de las diferentes moléculas hace casi imposible predecir con precisión el comportamiento de un asfalto que será emulsificado. Por esta razón, sobre la producción de emulsiones asfálticas se realizan constantemente controles de calidad. Cada fabricante de emulsiones tiene sus propias formulaciones y técnicas de producción. Ellas han sido desarrolladas para alcanzar óptimos resultados con el cemento asfáltico y los químicos emulsivos empleados.

## **Agua**

El segundo componente en una emulsión asfáltica es el agua. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua puede contener minerales u otros elementos que afectan la producción de emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente, el agua potable no puede ser adecuada para las emulsiones asfálticas.

El agua encontrada en la naturaleza puede ser inadecuada debido a impurezas, sea en solución o en suspensión coloidal. Preocupa la presencia de iones de calcio y de magnesio que no favorecen la formación de una emulsión catiónica estable. De hecho frecuentemente se adiciona cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento. Estos mismos iones, sin embargo, pueden ser perjudiciales para emulsiones aniónicas.

Aguas que contienen partículas no debieran utilizarse en la elaboración de las emulsiones. Dichas aguas pueden ser particularmente perjudiciales para las emulsiones catiónicas. Comúnmente, tales partículas están cargadas negativamente, y absorben rápidamente los agentes emulsivos, desestabilizando la emulsión. El uso de aguas impuras puede resultar en un desequilibrio en los componentes de la emulsión, lo que puede afectar en forma adversa al desempeño o causar una rotura prematura.

## **Agentes Emulsionantes**

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsivos. *El emulsivo es un agente tensio-activo o **surfactante**. El agente emulsivo*



*mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura.* Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas y no aniónicas.

Los agentes emulsivos aniónicos más comunes son los ácidos grasos, que son productos derivados de la madera, como aceites (resinas, ligninas, etc.). Los emulsivos aniónicos son saponificados (convertidos en jabón) al reaccionar con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.

Los agentes emulsivos catiónicos, en su mayoría son aminas grasas. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con un ácido (ácido clorhídrico). Otro tipo de agente emulsivo, las sales grasas cuaternarias de amonio, se emplea para producir emulsiones catiónicas. Son sales solubles en agua y no requieren la adición de ácido. Son agentes emulsivos estables y efectivos.

El **agente emulsionante** es, de los componentes individuales de la emulsión asfáltica, el más importante. Para que sea eficaz, el surfactante debe ser soluble en agua y poseer un adecuado equilibrio entre las propiedades hidrofílicas o lipofílicas. El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la emulsificación, en la estabilidad de la emulsión y en el desempeño de la aplicación final del camino.

Entre sus funciones principales tenemos:

- Facilitan la formación de las emulsiones asfálticas durante el proceso de producción.
- Mantienen la emulsión asfáltica estable durante el almacenamiento y transporte hasta que sea empleada en el propósito específico.
- Influye sobre el comportamiento de la emulsión, favoreciendo el cubrimiento del material pétreo y la adhesividad.
- Los emulgentes disminuyen la tensión interfacial entre la fase hidrocarbonada y la fase acuosa, crean una película protectora alrededor del glóbulo impidiendo que se unan entre sí.

## **Aditivos**

Este factor colabora con los emulgentes en el desempeño de sus funciones, mejorando algunas de las características concretas de las emulsiones asfálticas como su viscosidad, adhesividad, etc.



Dentro de los tipos de materiales que se pueden considerar como aditivos empleados para la fabricación de la emulsión están los polímeros.

## **2.7 Variables que afectan la Calidad y el Desempeño**

Hay muchos factores que afectan la producción, almacenamiento, uso, y desempeño de una emulsión asfáltica. Difícil sería destacar a una, cualquiera de ellas como la más importante. Entre las variables de importancia tenemos:

- Propiedades químicas de la base de cemento asfáltico.
- Dureza y porcentaje de la base de cemento asfáltico.
- Tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión.
- Tipo y concentración del agente emulsivo.
- Condiciones de elaboración, tales como temperatura, presión, y esfuerzo para separar las partículas de asfalto.
- Carga iónica en las partículas de emulsión.
- Orden en que se agreguen los elementos.
- Tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión.
- Propiedades del agente emulsivo.
- Adición de modificadores químicos o de polímeros.
- Calidad del agua (dureza del agua).

Estos factores pueden ser variados para ajustarse a los agregados disponibles o a las condiciones constructivas.

## **2.8 Rotura y Curado**

### **2.8.1 Rotura**

Para que la emulsión asfáltica cumpla su objetivo final, esto es, actúe como ligante, el agua debe separarse de la fase asfáltica y evaporarse. Esta separación se denomina “rotura” (breaking). Para tratamientos de superficies y sellados, las emulsiones están formuladas para romper químicamente al entrar en contacto con una sustancia extraña como el agregado o la superficie de un pavimento.

Para emulsiones de rotura lenta, el mecanismo es la evaporación de agua. Para el caso de mezclas densas, se requiere más tiempo para permitir el mezclado y la



compactación. Consecuentemente las emulsiones que son utilizadas en mezclas se diseñan para una rotura retardada.

Una *emulsión de rotura rápida* tendrá un corto tiempo de rotura (entre 1 y 5 minutos luego de aplicada), mientras que las *emulsiones de rotura media o rotura lenta*, pueden insumir un tiempo considerablemente mayor.

La velocidad de rotura está controlada básicamente por el tipo específico y la concentración del agente emulsivo.

### **2.8.2 Curado**

Involucra el desarrollo de las propiedades mecánicas del cemento asfáltico. El resultado final es una película cohesiva continua que mantiene a los agregados con fuerte unión de carácter adhesivo.

El agua se elimina completamente por evaporación, por la aplicación de presión (rodillada), y por absorción por el agregado. La evaporación del agua puede ser bastante rápida, bajo condiciones climáticas favorables; pero excesiva humedad, bajas temperaturas o lluvias inmediatas pueden demorar un curado apropiado.

Cuando se usan emulsiones de rotura lenta y media en mezclas de pavimentación, el empleo de agregados ligeramente húmedos facilita el proceso de mezclado y recubrimiento. En las emulsiones de rotura lenta, el desarrollo de la resistencia, depende principalmente de la evaporación y de la absorción.

## **2.9 Factores que afectan la Rotura y el Curado**

Algunos de los factores que afectan las velocidades de rotura y curado de las emulsiones asfálticas son:

- Absorción de agua – un agregado de textura áspera, poroso, acelera el tiempo de rotura al absorber agua de la emulsión.
- Contenido de humedad de los agregados – si bien los agregados húmedos pueden facilitar el recubrimiento, tienden a hacer más lento el proceso de curado, al incrementar el tiempo necesario para la evaporación.
- Condiciones climáticas – la temperatura, la humedad y la velocidad tienen influencia en la velocidad de evaporación del agua, en la



migración del emulsivo y en las características de liberación del agua. Usualmente, pero no siempre, la rotura ocurre de una manera más rápida en tiempos cálidos. Las altas temperaturas pueden originar la formación de “piel” en tratamientos superficiales, atrapando el agua y retardando el curado.

- Fuerzas mecánicas – la presión de los rodillos y, hasta cierto punto, el tráfico a baja velocidad, desalojan el agua de la mezcla y ayudan a lograr la cohesión, el curado y la estabilidad de la mezcla.
- Superficie específica – una mayor superficie específica de los agregados, particularmente finos en exceso o agregado sucio, acelera la rotura de la emulsión.
- Temperatura de la emulsión y del agregado – la rotura se demora cuando las temperaturas de la emulsión y del agregado son bajas. Esto es evidente en el caso de micro-aglomerados.
- Tipo y cantidad de emulsivo – El surfactante empleado en la elaboración de la emulsión determina las características de rotura de los agregados para sellados y para mezclas.



# CAPITULO 3

## Diseño de Mezclas con Emulsiones



## **Capítulo 3**

El Transportation Research Board (TRB) define estabilización como “la modificación de suelos o agregados mediante la incorporación de materiales, incrementando la capacidad portante, la firmeza y la resistencia al desplazamiento por la acción del clima”.

La estabilización con emulsión asfáltica es muy aceptable a la construcción por etapas, en las que nuevas trochas o capas se agregan a medida que el tráfico aumenta. Debido a sus propiedades cementantes e impermeabilizantes, la emulsión asfáltica puede ser excelente para estabilizaciones.

Los progresos en la tecnología de las emulsiones asfáltica hacen posible el empleo de mezclas con emulsiones con una amplia variedad de aplicaciones en la construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos.



### 3.1 Usos principales de Mezclas con Emulsiones Asfálticas.

Uso de la Mezcla	Propósito del Tratamiento con Emulsión
Como una ayuda constructiva	Facilitar la construcción del pavimento y en algunos casos proveer una plataforma de trabajo
Mejoramiento del comportamiento de agregados marginales	Mejorar el agregado, alcanzando la calidad de una buena base granular sin tratar.
Como una superficie de rodamiento temporaria	Proveer una superficie que puede ser utilizada hasta que se coloca, con carácter de pavimento permanente, una mezcla asfáltica en caliente o una mezcla con emulsión de alta calidad.
Reducir el espesor total del pavimento	Incrementar la resistencia de los materiales del pavimento y reducir el espesor necesario de la estructura con respecto al espesor correspondiente a materiales sin tratar.
Mezclas abiertas para carpetas y bases	Producir una mezcla de alta calidad para tráfico muy intenso. Estas mezclas tienen buenas flexibilidad y resistencia a la deformación permanente.
Superficie de rodamiento de granulometría cerrada	Producir una mezcla para carpetas estables que no sufrirán ahuellamiento ni desplazamientos
Sub-base de pavimentos	Permitir el uso de agregados de menor calidad para la elaboración de sub-bases aceptables. Para esta aplicación, se pueden usar arenas, arenas limosas y arenas y gravas de pobre graduación.
Mezclas de mantenimiento de uso inmediato y para acopio	Proveer mezclas de bacheo trabajables que pueden ser diseñadas para uso inmediato o para almacenamiento a largo plazo.

Tabla. 3.1.1 Fuente: Manual básico de Emulsiones Asfálticas Ms. 19 – Pg 63

### 3.2 Mezclas con Emulsiones Asfálticas

Hay 3 tipos de mezclas con emulsiones asfálticas y agregados: de granulometría cerrada, con arena, y de granulometría abierta. Las mezclas de granulometría cerrada están compuestas de agregados graduados desde el máximo tamaño hasta, inclusive, material pasante del tamiz N° 200. Incluyen una amplia variedad de tipos y granulometrías de agregados, y pueden ser empleadas para todos los tipos de aplicaciones en pavimentos.

Hay mezclas arena-emulsión se elaboran tratando, con emulsiones asfálticas, arenas de río, arenas y gravas pobremente graduadas y arenas de dunas. La mezcla con arena están generalmente limitadas a arenas finas limpias y arenas limosas con bajo contenido de arcilla. Elaboradas con los adecuados grados de emulsiones, las mezclas con arena han tenido un buen comportamiento como sub-bases y bases. Para estas mezclas, las emulsiones típicamente empleadas son de



rotura lenta y de rotura media de alta flotación, preferentemente con grados de mayor dureza o “h”.

### 3.3 Diseño de Mezclas Cerradas

Tamaño del tamiz	Mat. semi-procesado de trituración, de cantera o de río	Granulometrías para Mezclas Asfálticas Cerradas, porcentaje pasante en peso				
50 mm (2 pulg.)	-	100	-	-	-	-
37.5 mm (1-1/2 pulg.)	100	90-100	100	-	-	-
25.0 mm (1 pulg.)	80-90	-	90-100	100	-	-
19.0 mm (3/4 in)	-	60-80	-	90-100	100	-
12.5 mm (1/2 pulg.)	-	-	60-80	-	90-100	100
9.5 mm (3/8 pulg.)	-	-	-	60-80	-	90-100
4.75 mm (No. 4)	25-85	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80
2.36 mm (No. 8)	-	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65
1.18 mm (No. 16)	-	-	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	-	-	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	-	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25
150 µm (No. 100)	-	-	-	-	-	-
75 µm (No. 200)	3-15	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10
Equivalente de arena, en%	mín. 30	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35	mín. 35
Ensayo Los Angeles, @500 rev.	-	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40	máx. 40
Porcentaje de caras trituradas	-	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65	mín. 65

**Tabla 3.3.1 Diseño de Mezclas cerradas**

**Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas Ms. 19 – Pg. 65**

Para mezclas de agregado – emulsión es necesario un diseño. Es esencial para este trabajo preparar en el laboratorio mezclas de pruebas para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia del sistema.

Este método de diseño está destinado a mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un tamaño máximo del agregado de 19mm (3/4 pulg.) o menos. Es aplicado en mezclas elaboradas en el camino, a temperatura a ambiente y de colocación inmediata.

#### **Agregados**

Los agregados de granulometría cerrada que cumplen los requerimientos de la tabla siguiente, se encuentran entre los



adecuados para mezclas, con emulsión, de granulometría cerrada.

### **Emulsiones Asfálticas**

Para producir mezclas en frío, de granulometría cerrada, se emplean dos tipos de emulsiones asfálticas: de rotura lenta (SS) y de rotura media.

Como ya se mencionó antes, para nuestro trabajo utilizaremos las emulsiones asfálticas de rotura lenta, normalmente y como es el caso, con agregados con altas cantidades de materiales pasante del tamiz N° 200 y mezclas no destinadas al acopio.

#### **3.3.1 Determinación del contenido tentativo de Emulsión**

Hay varios procedimientos disponibles para determinar el punto de partida para el contenido tentativo de emulsión o de residuo asfáltico de una mezcla. Para este procedimiento de diseño, se utilizan dos simples fórmulas: una para mezclas para bases y otra para mezclas para superficie (carpeta de rodamiento). Las fórmulas se basan en el porcentaje de agregado fino menor de 4.75mm (pasante tamiz N° 4), y en la mayoría de los casos definirán un punto de partida satisfactorio.

- (1) Determinar el contenido de residuo de la emulsión asfáltica a ser empleada usando la norma ASTM D 244, “Residue and Oil Distillate by Distillation” (Residuo y Destilado de Petróleo por Destilación).

Aunque para el trabajo a realizar, obtendremos el contenido de residuo de emulsión por evaporación, que es una forma sencilla y más rápida de encontrar el valor. Esto es colocar en un recipiente unos 50 gr. de la emulsión y calentarla hasta el punto de ebullición en el cual agua se evaporará y solo quedará el residuo de la emulsión; entonces mediante la diferencia de pesos (antes y después de calentarla) obtendremos el valor.



$$P_{emul} = 50 \text{ gr}$$

$$P_{emul+tara} = 366.43 = P_1$$

$$P_{(emul+tara)evap} = 346.03 = P_2$$

$$P_{(emul)evap} = P_2 - (366.43 - 50) = 29.6$$

$$\% \text{Asfalto}_{res} = \frac{P_{(emul)evap}}{P_{emul}} \times 100 = \frac{29.6}{50} \times 100 = 59$$

- (2) Estimar un contenido inicial de emulsión basado en el peso de agregado, aplicando la fórmula apropiada para la mezcla a ser diseñada:

#### **Mezclas para carpetas:**

Se escoge la esta fórmula, porque nuestro enfoque es hacia las capas superficiales o capas de rodadura y además de que contienen un alto porcentaje de agregado fino.

$$\% \text{ emulsion} = \frac{[(0.07 \times B) + (0.03 \times C)] \times 100}{A}$$

**% de emulsión** = % inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del *peso seco del agregado*.

**A** = % de residuo de emulsión por evaporación. (paso 1)

**B** = % de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 ( 4.75mm)

**C** = **100 - B** = % de agregado seco retenido en el tamiz N° 4

de granulometría, pasante tamiz N° 4

$$B = (17.6 \times 0.2) + (11.4 \times 0.3) + (99.5 \times 0.25) + (96.7 \times 0.25) = 56.0\%$$

$$C = 100 - B = (100 - 56) = 44\%$$

$$\% \text{ emulsion} = \frac{[(0.07 \times 0.56) + (0.03 \times 0.44)] \times 100}{0.59} = 8.9$$



### **3.4 Ensayo de Recubrimiento y Adherencia**

La evaluación preliminar de cada emulsión asfáltica elegida para el diseño de la mezcla se lleva a cabo mediante un ensayo de recubrimiento y un ensayo de adherencia. El contenido de prueba de la emulsión asfáltica determinado mas arriba se combina con el agregado del proyecto en condición húmeda, corregida a peso seco. El recubrimiento se estima visualmente como satisfactorio o insatisfactorio para el uso pretendido para la mezcla.

Las mezclas para carpeta normalmente requieren un mucho mayor grado de recubrimiento que las mezclas para base.

Algunas emulsiones asfálticas pueden necesitar agua de premezclado. Si se observa que el asfalto y los finos se apelotonan, debería evaluarse el recubrimiento con contenidos de adicionales de agua.

Si el grado de recubrimiento es satisfactorio, el ensayo de adhesión se da por concluido. Si el recubrimiento es inaceptable, la emulsión empleada debería ser modificada o debería elegirse otra emulsión, y el proceso de mezclado de la mezcla debería comenzarse de nuevo.

#### **3.4.1 Procedimiento del Ensayo de Recubrimiento**

- (1) Determine el contenido de humedad de una muestra representativa del agregado. Debe ponerse cuidado en conservar la humedad en la muestra de campo. Si el agregado se recibe seco o se ha secado para realizar la composición granulométrica, se debe agregar a las muestras del agregado o de los agregados individuales combinados, 24 horas antes de realizar cualquier ensayo, la humedad que se estima en el acopio.
- (2) Pese el equivalente de 500 gramos de agregado seco (500 gramos + humedad) en un bol de mezclado apropiado.
- (3) De ser necesario, pese el agua de premezclado y mezcle manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
- (4) Pese el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura de uso prevista y agréguelo al agregado húmedo; mezcle manualmente en forma vigorosa durante 1 minuto o hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla.
- (5) Coloque la mezcla sobre una superficie plana y estime visualmente el grado de recubrimiento. Si se desea, puede evaluarse la resistencia de una fracción de la mezcla: sumerja totalmente la mezcla en agua (un volumen de agua de alrededor



de 2 veces el volumen de la mezcla) y luego vacíe el agua, colocando la muestra sobre una superficie plana y estimando visualmente el grado de recubrimiento retenido. Si es satisfactorio verifique la adherencia de asfalto. Si la adherencia no es aceptable, entonces debería modificarse la emulsión empleada o elegir otro grado.

### 3.4.2 Procedimiento del Ensayo de Adherencia

- (1) Cure una fracción de 100 gramos de la mezcla producida anteriormente (no la sumergida en agua) en una bandeja en una estufa de circulación forzada durante 24 horas, a 60 °C.
- (2) Coloque la mezcla curada en estufa en un vaso precipitado de 60 ml conteniendo 400 ml de agua destilada en ebullición.
- (3) Devuelva el agua a su punto de ebullición y manténgalo, y agite el agua durante 3 minutos a una revolución por segundo.
- (4) Derrame el agua y coloque la mezcla sobre un trozo de papel blanco absorbente.
- (5) Luego de que la mezcla se ha secado, evalúe visualmente el porcentaje de recubrimiento asfáltico retenido. De ser satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla; de no serlo, deberá ser modificada la emulsión en uso o elegir otro grado.

En nuestro trabajo se realizó estos ensayos siguiendo los pasos indicados, para 500 gramos de agregado seco, y una humedad variada en valores de 4% (4% - 8% - 10%) empezando de cero

Después de realizar los ensayos con varias muestras cambiando valores para llegar al indicado, se determinó que el valor de la humedad deseada era el 10% y un porcentaje de emulsión del 8.9%, así que el ensayo de recubrimiento y adherencia es satisfactorio, para la muestra.



Foto 3.4.1a



Foto 3.4.1b

**Fotos de recubrimiento de la emulsión a los agregados**



**Foto 3.4.2 Foto de adherencia de la emulsión a los agregados**

### **3.5 Preparación de los Especímenes de Ensayo**

Para el ensayo se preparará tres lotes, para cada uno de ellos un mínimo de tres diferentes contenidos de emulsión, uno por encima del contenido de prueba y otro por debajo. Si la mezcla en el ensayo de recubrimiento, parece seca, comenzamos con el contenido de emulsión de prueba y aumentamos para cada uno de las mezclas restantes. Inversamente, si la mezcla en el ensayo de recubrimiento parece rica, reducimos el porcentaje de emulsión para las dos muestras restantes.

Como es este caso, vimos que la mezcla parecía seca, por ende optamos por los contenidos de emulsión por encima del de prueba y aumentando de 1%, es decir: 6 testigos con 8.9%, 6 testigos con 9.9% y 6 testigos con 10.9% de emulsión.

Ya que una diferencia normal entre los contenidos de emulsión es de 1% o 0.65% en el contenido de residuo asfáltico para una emulsión con un contenido del 65%.

#### **3.5.1 Procedimiento de Mezclado**

- (1) Pese en boles para mezcla adecuados la correcta cantidad del agregado del proyecto en condición de humedad, para obtener una espécimen compactado cuya altura es de  $63.5 \pm 6$  mm ( $2.50 \pm 0.25$  pulg.); todo esto para cada pastón. La cantidad normalmente necesaria es de alrededor de 1200 gramos de agregado. Debe ponerse cuidado en que el agregado para cada pastón sea representativo del agregado del proyecto. De ser necesario el agregado puede ser secado, separado en diferentes tamaño y luego recombinado para el peso requerido para cada pastón. El pastón debe cubrirse, durante unas 24 horas previas al mezclado con emulsión, para prevenir la pérdida de humedad.



- (2) Si se necesita agua de pre-mezclado, pese, agregándola al agregado, la cantidad determinada la cual se estableció en el ensayo de recubrimiento y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad este uniformemente distribuida. Esto debe realizarse inmediatamente antes de la adición y mezclado de la emulsión.
- (3) Pese, agregándola, la cantidad predeterminada de emulsión sobre el agregado con humedad ambiente y remueva vigorosamente durante 1 minuto o hasta que la emulsión se haya dispersado suficiente en la mezcla.

Para nuestro proyecto los agregados fueron separados en los diferentes tamaños (3/4 – 3/8 – arena N° 1 – arena de río), los cuales no fueron secados, y se los utilizó a la temperatura ambiente. Y se continuó con el procedimiento. (Ver anexo 1, pág. 102)



Foto. 3.5.1a



Foto 3.5.1b



Foto 3.5.1c

**Peso de cantidad de Emulsión (1a), agregados (1b) y mezclado a máquina de los componentes**

### 3.5.2 Procedimiento de Compactación

- (1) A menudo y previo a la compactación, es necesario airear o secar la mezcla. En el momento en que el volumen del líquido total (emulsión+agua en agregado) excede los vacíos en el agregado mineral (VAM) más cualquier volumen de líquido absorbido, no se puede lograr una compactación adecuada. Esta condición puede ser detectada si el martillo del método Marshall rebota y/o el espécimen exuda líquido. Cuando esta condición se da, se coloca la muestra en una bandeja y utiliza un ventilador y remueva ocasionalmente la mezcla para reducir el contenido de humedad, de modo pueda lograrse una compactación adecuada.



- (2) Limpie completamente el molde para el espécimen y la cara del martillo de compactación. Coloque un disco de papel en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. Coloque la totalidad del pastón dentro del molde y con una espátula aplique vigorosamente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en el interior del molde. Con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma redondeada.
- (3) Coloque el molde sobre el pedestal, trábelo y aplique 50 golpes con el martillo de compactación con una caída libre de 457.2 mm (18 pulg.). Quite la base del molde y el collar e invierta el espécimen moldeado, re-ensamblando el molde. Aplique otros 50 golpes de compactación, esta vez sobre la cara libre del espécimen invertido.
- (4) Retire la base, el collar y los discos de papel y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en una estufa de circulación forzada a 60°C y durante 48 horas. Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar el espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de modo que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.
- (5) Retire del horno el molde conteniendo el espécimen compactado, y conservando aún su temperatura de 60°C, aplique una carga estática de 178 KN (40000 libras) con el método del doble pistón. Aplique la carga de compresión a una velocidad de alrededor de 1.3mm/minuto (0.05 pulg./minuto), y mantenga la carga total durante un minuto; luego descargue.
- (6) Deje enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmolde para ser ensayado.

Se siguió el procedimiento, con una modificación en el curado, después de estar en la estufa por 48 horas, luego se sumergieron 6 de los 12 testigos elaborados en agua, para darle un curado adicional por 4 días y así tener 2 tipos de curados en los especímenes; 6 testigos al ambiente y otros 6 testigos en agua con el diferente % de emulsión. (Anexo 1, pág. 102)



Foto 3.5.2a



Foto 3.5.2b

**Colocación de la mezcla en el molde y compactación con el martillo Marshall**

### 3.6 Ensayo de los Especímenes Compactados

Si se desea partiendo de los especímenes compactados se pueden determinar los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad. Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados: se los calcula solo como aproximaciones debido a la posibilidad de que haya algo de humedad en los especímenes compactados y curados y el gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desea valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad. (Anexo 2, pág. 103)

#### 3.6.1 Parámetros volumétricos

El método más simple y más usado para determinar la densidad bruta (bulk density) es dividir el peso del espécimen en el aire por el volumen (calculado luego de medirlo). Si no por otra razón, la densidad bruta debiera ser determinada para comprobar la validez de la compactación y/o composición de especímenes similares.

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

$D_b$  = densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada

$W_a$  = peso, en el aire, del espécimen compactado



H = altura del espécimen compactado

A = área de la sección transversal de un espécimen compactado ( $3.1416 \cdot r^2$ ).

Otros parámetros volumétricos, tales como porcentaje de vacíos, vacíos ocupados con asfalto y vacíos en el agregado mineral, etc. Pueden ser determinados de manera correcta teniendo en cuenta la humedad y siguiendo apropiadamente los métodos de ensayo de ASTM.

### **3.6.2 Ensayo de Estabilidad**

La estabilidad y fluencia en el ensayo Marshall se determinan siguiendo los procedimientos de ASTM D 1559, comenzando en el párrafo 5 (Procedure, *procedimiento*) con las excepción de que los especímenes compactados serán colocados en un baño de aire por un mínimo de 2 horas a la temperatura de ensayo,  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Para la mayoría de los pavimentos con mediano o bajo volumen de tráfico, se ha encontrado que una estabilidad de 2224 N (500 libras) o mayor es satisfactoria. La experiencia local puede dar justificar un valor mínimo de estabilidad. (Anexo 2, pág. 103)



# CAPITULO 4

## **Diseño de Mezclas con Reciclado**



## **Capítulo 4**

Se define como “Reciclado” a la reutilización, usualmente luego de cierto grado de procesamiento, de un material que ya ha servido su propósito original. Esto es trabajar un pavimento que ha perdido su funcionalidad, reprocesando sus componentes y así mismo incorporando los nuevos, que sean necesarios (ligantes o modificadores, o áridos) para darles un nuevo perfil y pendiente transversal, de manera que sirva por un nuevo período de diseño.

El “reciclado” se lo realiza para ahorrar recursos naturales no renovables que son cada vez más escasos (piedra y asfalto).

Para evitar un transporte extenso de las minas a la carretera y de la carretera a los sitios de botadero, que resulta mucho más costoso y a su vez deteriora más las carreteras.

Para poner en servicio rápidamente tramos que demorarían demasiado con construcción tradicional.

Por ende el reciclado resulta más económico porque ahorramos en suministro de áridos, en suministro de asfalto (porque utilizamos por lo menos el 50% del asfalto existente), en transporte (porque uno de los tipos de reciclado es en sitio), y ahorramos en gastos administrativos.

Con respecto al reciclado de pavimento asfáltico, hay varios métodos disponibles para cada proyecto. Para reciclado debemos evaluar





cuidadosamente el método mas apropiado. Entre los factores que deberíamos incluir están: (1) condición existente del pavimento, (2) espesores y tipos de los materiales del pavimento existente, (3) requerimientos estructurales del pavimento reciclado y (4) disponibilidad de aditivos de reciclados.



**Foto 4.1 Máquina fresadora y tren de reciclado (in situ)**

## **4.1 Tipos de Reciclado**

La Asociación de Reciclado y Recuperación de Asfalto (Asphalt Recycling and Reclaiming Association, ARRA) reconoce cinco tipos de reciclados de pavimentos:

### **4.1.1 Fresado en Frío (cold planing)**

Se remueve el pavimento asfáltico hasta una profundidad especificada y la superficie es restaurada, con las pendientes longitudinales y transversales deseadas, y libre de lomos, huellas y otras imperfecciones superficiales. La remoción del pavimento o fresado se completa con la máquina de tambor autopropulsada por cepillado en frío. El pavimento asfáltico recuperado (reclaimed Asphalt pavement, RAP) es cargado en camiones y acopiado para ser reciclado en caliente o en frío.

### **4.1.2 Reciclado en caliente**

Se combina el RAP con agregado nuevo y cemento asfáltico y/o agente de reciclado, para producir una mezcla asfáltica en caliente. Si bien se usan plantas en calientes por pastones, comúnmente las plantas empleadas para producir la mezcla reciclada son las de tambor. El RAP en su mayor parte es producido por fresado en frío pero también puede elaborarse a partir de la remoción del pavimento y trituración. Los equipos y



procedimientos para colocación y compactación de la mezcla son aquellos típicos de las mezclas asfálticas en caliente.

#### **4.1.3 Reciclado en caliente in situ**

El reciclado se lleva a cabo en el lugar y el pavimento típicamente se procesa hasta una profundidad de 2-4 cm ( $\frac{3}{4}$  –  $1\frac{1}{2}$  pulg.). El pavimento asfáltico es calentado, ablandado y escarificado hasta la profundidad especificada. Se agrega una emulsión asfáltica u otro agente de reciclado, y empleando uno de los procesos, se incorpora nueva mezcla asfáltica en caliente en la medida necesaria. Los tres métodos de reciclado en caliente in-situ son termo-fusión, repavimentación y remezclado.

#### **4.1.4 Reciclado en frío**

Si bien el reciclado en frío se realiza también empleando la planta central o fija, el método más comúnmente utilizado es el reciclado en frío in-situ (Cold in-place Recycling, CIR). En el CIR, habitualmente el pavimento asfáltico existente es procesado hasta una profundidad de 5-10cm (2-4 pulg.).

Es ideal, cuando el deterioro se lo puede identificar como exclusivo de la capa superior o capa de rodadura. Este deterioro se lo puede identificar cuando existe:

- Fisura de arriba hacia abajo (revisar núcleos)
- Desprendimientos generalizados
- Baches de poca profundidad
- Corrimientos de capa asfáltica
- Deformaciones en superficie relacionadas con la capa de superficie

Hay que asegurarse que el fresado levante toda la capa afectada. Si se usa el reciclado para cortar el reflejo de fisuras que todavía quedan a mayor profundidad; hay que tomar en cuenta que eventualmente, el reflejo sí se presenta

El pavimento es pulverizado y el material recuperado se mezcla con la emulsión asfáltica o el agente de reciclado emulsionado; luego se lo extiende y se lo compacta, construyéndose así una carpeta o una base según sea la necesidad para la cual se diseñó. Las bases recicladas en frío requieren una nueva superficie asfáltica. Para pavimentos de tráfico bajo, puede aplicarse un tratamiento de superficie con una



emulsión. Para tráfico intenso, puede aplicarse un tratamiento de superficie con emulsión modificada o una carpeta de rodamiento con una mezcla asfáltica en caliente.



Figura 9.3 Máquina de Cepillado/Fresado en Frío Removiendo el Pavimento Asfáltico

**Fig. 4.1.4**

**Fuente: Manual de Emulsiones Asfálticas. Ms. 19**

#### **4.1.5 Recuperación Full-depth**

En este método, toda la sección de pavimento o capa asfáltica, y en algunos casos un volumen predeterminado del material granular o subyacente, se levanta y se mezcla con emulsión asfáltica para construir una base estabilizada; este a su vez requiere de una superficie de rodadura nueva, ya sea: un sello superficial (gravilla y riego), un micro pavimento (slurry seal) o una carpeta asfáltica de mezcla caliente. Con este proceso constructivo, los problemas en la base pueden ser corregidos y también:

- Se elimina el reflejo de fisuras.
- Se restablece y mejora la capacidad portante de la base.
- Se aumenta el espesor asfáltico total, preparando así la vía para mayores niveles de tráfico futuro.
- Hay que asegurar la estabilidad de las capas subyacentes (su drenaje apropiado).

La recuperación full-depth consiste en seis etapas básicas: pulverización, incorporación de aditivos y/o de emulsión, extendido, compactación, perfilado y colocación de la nueva superficie asfáltica.

Los métodos en los que las emulsiones asfálticas se utilizan con mayor frecuencia son el **reciclado en frío** y **recuperación full-depth**.



En nuestro caso para el trabajo de investigación utilizaremos el método de reciclado en frío.

Entonces las formas de reciclado se pueden resumir en lo siguiente:

Por proceso:

En Caliente

En Frío

Por Sitio de Mezcla

En Planta

En Vía

Por capa a tratar

Reciclado de la capa asfáltica superior

Reciclado de profundidad total (capa asfáltica y parte de la base granular)

Por material estabilizador

Reciclado con cemento

Reciclado con emulsiones asfálticas o rejuvenecedores

Reciclado con asfalto espumado

## 4.2 Pavimentos indicados para reciclado

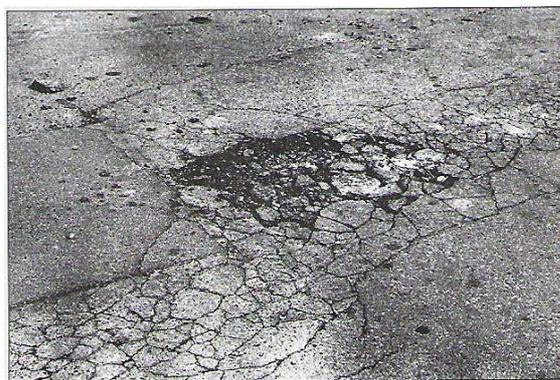


Figura 9.1 Pavimento Asfáltico Deteriorado, Indicado para Reciclado

**Fig. 4.2.1**

**Fuente: Manual de Emulsiones Asfálticas. Ms-19, pág. 88**



Usualmente son viejos pavimentos asfálticos, desde una mezcla asfáltica en caliente a una base granular con tratamiento de superficie. Dichos pavimentos adolecerán de fisuración y desintegración severas, tales como baches. Frecuentemente, la pobre condición de del pavimento se debe a que éste es, para el tráfico actuante, demasiosa débil o de insuficiente espesor, y así es sobreesforzado. Un pobre drenaje puede también acelerar la velocidad y el tenor el deterioro del pavimento. Todos los pavimentos asfálticos tienen bases granulares y algunos suelos arenosos en la sub-rasante, pudiéndose en ambos casos lograr un mejoramiento y un aumento en la resistencia mediante la estabilización con emulsiones asfálticas.

Determinar la condición del pavimento existente es una parte esencial en la selección de cualquier método de rehabilitación de asfálticos. Se necesita evaluar el tipo y cantidad de defectos del pavimento. Necesita determinarse la resistencia de la estructura del pavimento actual y sus materiales. Los tráficos actual y futuro necesitan ser investigados.

Un adecuado muestreo y la correcta utilización de los ensayos de materiales son esenciales en el éxito del reciclado de pavimentos. Testigos de pavimentos y/o perforaciones se emplean para determinar el tipo, el espesor y la condición de las varias capas de pavimento y obtener muestras representativas para ensayos en laboratorio. Para materiales asfálticos, los ensayos típicamente incluyen la extracción convencional de asfalto, tanto para determinar el contenido de asfalto como para calcular, por tamizado, la granulometría de los agregados.

### **4.3 Ventajas del reciclado**

El reciclado en frío y la recuperación full-depth de pavimentos asfálticos ofrecen muchas ventajas, entre ellas una de las más importantes, la de carácter ecológico y económico:

- (1) Hay una preservación de los recursos naturales gracias a la reutilización y recuperación de los agregados y del asfalto existente en los pavimentos existentes.
- (2) La disposición, como desecho, de los materiales del pavimento es reducida en gran parte o eliminada.
- (3) Conservación de energía al construirse en el lugar y no requerirse combustible para el calentamiento de materiales.
- (4) La fisuración puede ser controlada, ya que es normalmente reducida o demorada con el reciclado en frío in situ y eliminada con la recuperación full depth.



- (5) El bombeo y pendiente transversal pueden ser mejorados o restaurados.
- (6) La pérdida de la altura del cordón puede ser reducida o eliminada.
- (7) Los costos de mantenimiento se reducen.

Estas son las diversas razones por el cual se escogió para este trabajo, la aplicación del reciclado como uno de los parámetros de estudio; y ayudar así a la conservación de los recursos naturales implicados en la producción de mezclas asfálticas.

#### **4.4 Diseño de Mezcla para reciclado**

Cuando se va a intervenir una vía, para someterla a reciclado de carpeta asfáltica, se debe realizar una investigación preliminar, determinar el espesor a tratar de la capa existente, en función del estado de la vía y la capacidad estructural requerida

Así mismo evaluar la composición de la capa asfáltica, determinar el contenido de asfalto, penetración o viscosidad del asfalto. (opcional)

Evaluar la composición de la capa granular, realizando una granulometría al agregado y un equivalente de arena. (o límites)

Como se indicó en el diseño anterior, para mezclas de agregado reciclado – emulsión es necesario un diseño. Es esencial para este trabajo preparar en el laboratorio mezclas de pruebas para determinar el grado y porcentaje de emulsión y las propiedades de trabajabilidad, estabilidad y resistencia de este nuevo sistema.

Este método de diseño está destinado a mezclas frías con emulsión asfáltica, de granulometría cerrada, con un agregado reciclado. Es aplicado en mezclas elaboradas en el camino, a temperatura ambiente y de colocación inmediata.

##### **Agregados**

Los agregados a utilizar provienen de la recuperación de un tramo de la pista aterrizaje del aeropuerto José J. De Olmedo de la ciudad de Guayaquil, reciclados en frío, con una espesor no mayor a 3 pulg.

##### **Emulsiones Asfálticas**

Para producir mezclas en frío, de granulometría cerrada, se emplean dos tipos de emulsiones asfálticas: de rotura lenta (SS) y de rotura media.



Para esta parte del trabajo utilizaremos las emulsiones asfálticas de rotura lenta, porque los materiales a reciclar tienen, generalmente, contenidos altos de material Pasante de 0,075mm

Se puede usar rotura media cuando el contenido de material más fino que 0,075mm es bajo

#### 4.4.1 Determinación del contenido tentativo de Emulsión

Hay varios procedimientos disponibles para determinar el punto de partida para el contenido tentativo de emulsión o de residuo asfáltico de una mezcla. Para este procedimiento de diseño, se utilizan dos simples fórmulas: una para mezclas para bases y otra para mezclas para superficie (carpeta de rodamiento). Las fórmulas se basan en el porcentaje de agregado fino menor de 4.75mm (pasante tamiz N° 4), y en la mayoría de los casos definirán un punto de partida satisfactorio.

1. Determinar el contenido de residuo de la emulsión asfáltica a ser empleada usando la norma ASTM D 244, “Residue and Oil Distillate by Distillation” (Residuo y Destilado de Petróleo por Destilación).

Aunque para el trabajo a realizar, obtendremos el contenido de residuo de emulsión por evaporación, que es una forma sencilla y rápida de encontrar el valor. Esto es colocar en un recipiente unos 50 gr. de la emulsión y calentarla hasta el punto de ebullición en el cual agua se evaporará y solo quedará el residuo de la emulsión; entonces mediante la diferencia de pesos (antes y después de calentarla) obtendremos el valor.

$$P_{emul} = 50.58 \text{ gr}$$

$$P_{emul+tara} = 367.16 = P_1$$

$$P_{(emul+tara)evap} = 345.48 = P_2$$

$$P_{(emul)evap} = P_2 - (367.16 - 50.58) = 28.9$$

$$\% \text{Asfalto}_{res} = \frac{P_{(emul)evap}}{P_{emul}} \times 100 = \frac{28.9}{50.58} \times 100 = 57$$



2. Estimar un contenido inicial de emulsión basado en el peso de agregado, aplicando la fórmula apropiada para la mezcla a ser diseñada:

### Mezclas para carpetas:

Se escoge la esta formula, porque nuestro enfoque es hacia las capas superficiales o capas de rodadura y además de que contienen un alto porcentaje de agregado fino.

$$\% \text{ de } \_emulsion = \frac{[(0.07 \times B) + (0.03 \times C)] \times 100}{A} - 0.5Pe_{recup}$$

**% de emulsión** = % inicial estimado de emulsión asfáltica, expresado en función del *peso seco del agregado*.

**A** = % de residuo de emulsión por evaporación. (paso 1)

**B** = % de agregado seco que pasa el tamiz N° 4 ( 4.75mm)

**C = 100 - B** = % de agregado seco retenido en el tamiz N° 4

**Pe\_recup** = valor a disminuir en % de emulsión por el asfalto presente en el material recuperado.

**P\_rap** = % de asfalto en el material recuperado.

Pasante tamiz #4 = 77.3%

$$Pe_{recup} = \left( \frac{P_{rap}}{A} \right) = \left( \frac{4.25}{0.57} \right) = 7.46$$

$$\% \_emul = \frac{[(0.07 \times 0.773) + (0.03 \times 0.227)] \times 100}{0.57} - (0.5 \times 7.46)$$

$$\% \_emul = 7.0\%$$

**NOTA:** El factor de 0,5 que se usa para afectar el contenido de asfalto en el material recuperado, se lo usa en función de lo envejecido que puede estar el asfalto original, y puede aumentarse su valor, acercándolo a la unidad, cuando se considera que el asfalto original no ha perdido muchas de sus propiedades originales (penetración, viscosidad y ductilidad)



## 4.5 Ensayo de Recubrimiento y Adherencia

La evaluación preliminar de cada emulsión asfáltica elegida para el diseño de la mezcla se lleva a cabo mediante un ensayo de recubrimiento y un ensayo de adherencia. El contenido de prueba de la emulsión asfáltica determinado mas arriba se combina con el agregado del proyecto en condición húmeda, corregida a peso seco. El recubrimiento se estima visualmente como satisfactorio o insatisfactorio para el uso pretendido para la mezcla.

Las mezclas para carpeta normalmente requieren un mucho mayor grado de recubrimiento que las mezclas para base.

Algunas emulsiones asfálticas pueden necesitar agua de premezclado. Si se observa que el asfalto y los finos se apelotonan, debería evaluarse el recubrimiento con contenidos de adicionales de agua.

Si el grado de recubrimiento es satisfactorio, el ensayo de adhesión se da por concluido. Si el recubrimiento es inaceptable, la emulsión empleada debería ser modificada o debería elegirse otra emulsión, y el proceso de mezclado de la mezcla debería comenzarse de nuevo.

### .5.1 Procedimiento del Ensayo de Recubrimiento

- (1) Determine el contenido de humedad de una muestra representativa del agregado. Debe ponerse cuidado en conservar la humedad en la muestra de campo. Si el agregado se recibe seco o se ha secado para realizar la composición granulométrica, se debe agregar a las muestras del agregado o de los agregados individuales combinados, 24 horas antes de realizar cualquier ensayo, la humedad que se estima en el acopio.
- (2) Pese el equivalente de 500 gramos de agregado seco (500 gramos + humedad) en un bol de mezclado apropiado.
- (3) De ser necesario, pese el agua de premezclado y mezcle manualmente durante 10 segundos o hasta que tenga apariencia de dispersión uniforme.
- (4) Pese el contenido de emulsión asfáltica a la temperatura de uso prevista y agréguelo al agregado húmedo; mezcle manualmente en forma vigorosa durante 1 minuto o hasta que ha tenido lugar una dispersión suficiente en la totalidad de la mezcla.
- (5) Coloque la mezcla sobre una superficie plana y estime visualmente el grado de recubrimiento. Si se desea, puede



evaluarse la resistencia de una fracción de la mezcla: sumerja totalmente la mezcla en agua (un volumen de agua de alrededor de 2 veces el volumen de la mezcla) y luego vacíe el agua, colocando la muestra sobre una superficie plana y estimando visualmente el grado de recubrimiento retenido. Si es satisfactorio verifique la adherencia de asfalto. Si la adherencia no es aceptable, entonces debería modificarse la emulsión empleada o elegir otro grado.



**Foto 4.5.1a**



**Foto 4.5.1b**

**Fotos del recubrimiento de la emulsión a los agregados**

#### **4.5.2 Procedimiento del Ensayo de Adherencia**

- (1) Cure una fracción de 100 gramos de la mezcla producida anteriormente (no la sumergida en agua) en una bandeja en una estufa de circulación forzada durante 24 horas, a 60 °C.
- (2) Coloque la mezcla curada en estufa en un vaso precipitado de 60 ml conteniendo 400 ml de agua destilada en ebullición.
- (3) Devuelva el agua a su punto de ebullición y manténgalo, y agite el agua durante 3 minutos a una revolución por segundo.
- (4) Derrame el agua y coloque la mezcla sobre un trozo de papel blanco absorbente.
- (5) Luego de que la mezcla se ha secado, evalúe visualmente el porcentaje de recubrimiento asfáltico retenido. De ser satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla; de no serlo, deberá ser modificada la emulsión en uso o elegir otro grado.

En nuestro trabajo se realizó estos ensayos siguiendo los pasos indicados, para 500 gramos de agregado seco, y una humedad variada en valores de 1% (2% - 3% - 4%) empezando de cero ya que el reciclado es un material que contiene asfalto envejecido, por ende los vacíos son pequeños.

Después de realizar los ensayos con varias muestras cambiando valores para llegar al indicado, se determinó que el valor de la humedad deseada era el 3% y un porcentaje de emulsión del 7% ya disminuido el valor del contenido de asfalto existente en el reciclado, así que el ensayo de recubrimiento y adherencia es satisfactorio, para la muestra.



**Foto 4.5.2a**



**Foto 4.5.2b**

**Fotos de la adherencia de la emulsión a los agregados reciclados**

## **.6 Preparación de los Especímenes de Ensayo**

Para el ensayo se preparará tres lotes, para cada uno de ellos un mínimo de tres diferentes contenidos de emulsión, uno por encima del contenido de prueba y otro por debajo. Si la mezcla en el ensayo de recubrimiento, parece seca, comenzamos con el contenido de emulsión de prueba y aumentamos para cada uno de las mezclas restantes. Inversamente, si la mezcla en el ensayo de recubrimiento parece rica, reducimos el porcentaje de emulsión para las dos muestras restantes.

Como es este caso, vimos que la mezcla parecía rica, por ende optamos por los contenidos de emulsión, uno por encima del de prueba y otro por debajo, aumentando y disminuyendo de 1%, es decir: 6 testigos con 6%, 6 testigos con 7% y 6 testigos con 8% de emulsión.

Ya que una diferencia normal entre los contenidos de emulsión es de 1% o 0.65% en el contenido de residuo asfáltico para una emulsión con un contenido del 65%.

### **4.6.1 Procedimiento de Mezclado**

- 1 Pese en boles para mezcla adecuados la correcta cantidad del agregado del proyecto en condición de humedad, para obtener



una espécimen compactado cuya altura es de  $63.5 \pm 6$  mm ( $2.50 \pm .25$  pulg.); todo esto para cada pastón. La cantidad normalmente necesaria es de alrededor de 1200 gramos de agregado. Debe ponerse cuidado en que el agregado para cada pastón sea representativo del agregado reciclado del proyecto; el reciclado debe ser secado. El pastón debe cubrirse, durante unas 24 horas previas al mezclado con emulsión, para prevenir la pérdida de humedad.

- 2 Si se necesita agua de pre-mezclado, pese, agregándola al agregado, la cantidad determinada la cual se estableció en el ensayo de recubrimiento y mezcle durante 10 segundos o hasta que la humedad este uniformemente distribuida. Esto debe realizarse inmediatamente antes de la adición y mezclado de la emulsión.
- 3 Pese, agregándola, la cantidad predeterminada de emulsión sobre el agregado con humedad ambiente y remueva vigorosamente durante 1 minuto o hasta que la emulsión se haya dispersado suficiente en la mezcla.

Para esta parte del proyecto el agregado reciclado fue tamizado y se lo utilizó a la temperatura ambiente, de esta manera continuamos con el procedimiento. (Anexo 1, pág. 102)



Foto 4.6.1a



Foto 4.6.1b

#### **Procedimiento de mezclado a máquina de los componentes y reciclado**

#### **4.6.2 Procedimiento de Compactación**

- 1 A menudo y previo a la compactación, es necesario airear o secar la mezcla. En el momento en que el volumen del líquido total (emulsión+agua en agregado) excede los vacíos en el agregado mineral (VAM) más cualquier volumen de líquido absorbido, aunque no será mucho el valor de absorción, pero igual no se puede lograr una compactación adecuada. Esta



condición puede ser detectada si el martillo del método Marshall rebota y/o el espécimen exuda líquido. Cuando esta condición se da, se coloca la muestra en una bandeja y utiliza un ventilador y remueva ocasionalmente la mezcla para reducir el contenido de humedad, de modo pueda lograrse una compactación adecuada.

- 2 Limpie completamente el molde para el espécimen y la cara del martillo de compactación. Coloque un disco de papel en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. Coloque la totalidad del pastón dentro del molde y con una espátula aplique vigorosamente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en el interior del molde. Con la espátula, alise la superficie de la mezcla dándole una forma redondeada.
- 3 Coloque el molde sobre el pedestal, trábelo y aplique 50 golpes con el martillo de compactación con una caída libre de 457.2 mm (18 pulg.). Quite la base del molde y el collar e invierta el espécimen moldeado, re-ensamblando el molde. Aplique otros 50 golpes de compactación, esta vez sobre la cara libre del espécimen invertido.
- 4 Retire la base, el collar y los discos de papel y coloque el molde, con el espécimen compactado en su interior, sobre un estante perforado en una estufa de circulación forzada a 60°C y durante 48 horas. Para algunas mezclas, puede ser necesario empujar el espécimen hacia abajo nivelándolo con el fondo del molde, de modo que el estante de la estufa lo soporte durante el curado.
- 5 Retire del horno el molde conteniendo el espécimen compactado, y conservando aún su temperatura de 60°C, aplique una carga estática de 178 KN (40000 libras) con el método del doble pistón. Aplique la carga de compresión a una velocidad de alrededor de 1.3mm/minuto (0.05 pulg./minuto), y mantenga la carga total durante un minuto; luego descargue.
- 6 Deje enfriar el espécimen en el molde durante una hora como mínimo, previamente a su desmoldeo para ser ensayado.

Se siguió el procedimiento, con una modificación en el curado, después de estar en la estufa por 48 horas, luego se sumergieron 9 de los 18 testigos elaborados en agua, para darle un curado adicional por 3 días y así tener 2 tipos de curados en los especímenes; 9



testigos al ambiente y otros 9 testigos en agua con el diferente % de emulsión. (Anexo 1, pág. 102)



Foto 4.6.2a



Foto 4.6.2b

**Colocación de la mezcla en el molde y compactación con el martillo Marshall**

## 4.7 Ensayo de los Especímenes Compactados

Si se desea partiendo de los especímenes compactados se pueden determinar los valores aproximados de los parámetros volumétricos y de la estabilidad. Los parámetros volumétricos a menudo no son evaluados: se los calcula solo como aproximaciones debido a la posibilidad de que haya algo de humedad en los especímenes compactados y curados y el gran número de especímenes necesarios para valores más exactos. Si se desea valores más precisos, debe tenerse en cuenta la humedad existente en los especímenes compactados y la máxima densidad teórica debe ser determinada con una mezcla suelta, libre de humedad. (anexo 2, pág 103)

### 4.7.1 Parámetros volumétricos

El método más simple y más usado para determinar la densidad bruta (bulk density) es dividir el peso del espécimen en el aire por el volumen (calculado luego de medirlo). Si no por otra razón, la densidad bruta debiera ser determinada para comprobar la validez de la compactación y/o composición de especímenes similares.

$$D_b = \frac{W_a}{(H \times A)}$$

$D_b$  = densidad bruta (medida) de un espécimen de mezcla compactada



$W_a$  = peso, en el aire, del espécimen compactado

H = altura del espécimen compactado

A = área de la sección transversal de un espécimen compactado ( $3.1416 \cdot r^2$ ).

Otros parámetros volumétricos, tales como porcentaje de vacíos, vacíos ocupados con asfalto y vacíos en el agregado mineral, etc. Pueden ser determinados de manera correcta teniendo en cuenta la humedad y siguiendo apropiadamente los métodos de ensayo de ASTM.

#### **4.7.2 Ensayo de Estabilidad**

La estabilidad y fluencia en el ensayo Marshall se determinan siguiendo los procedimientos de ASTM D 1559, comenzando en el párrafo 5 (Procedure, *procedimiento*) con las excepción de que los especímenes compactados serán colocados en un baño de aire por un mínimo de 2 horas a la temperatura de ensayo,  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Para la mayoría de los pavimentos con mediano o bajo volumen de tráfico, se ha encontrado que una estabilidad de 2224 N (500 libras) o mayor es satisfactoria. La experiencia local puede dar justificar un valor mínimo de estabilidad. (Anexo 2, pág 103)



# CAPITULO 5

## **Método de Diseño Marshall**



## **CAPITULO 5**

### **METODOLOGÍA MARSHALL**

#### **5.1 Antecedentes**

Con el acontecimiento de la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos de Norteamérica vio como un importante problema, el proyecto de la construcción de aeropuertos militares en todos los frentes de batalla. En ese momento el Cuerpo de ingenieros tenía un tipo de ensayos simples, y esquemas de trabajo para los proyectos y el control de calidad de campo para pavimentos asfálticos. Carecían también, de un criterio racional para la determinación del contenido optimo de asfalto en mezclas que serían sometidas a enormes cargas por los aviones y vehículos militares. Teniendo en cuenta estos problemas, el Cuerpo de Ingenieros inició un estudio para seleccionar aparatos de ensayos simples y de fácil transporte que podrían ser usados en campo como control de calidad.

La segunda fase de este estudio era determinar un método para compactar cuerpos de prueba en laboratorio, cuyos valores de



densidad fueran comparables y compatibles con aquellos obtenidos en campo.

La tercera fase de esa búsqueda era naturalmente el establecimiento de un criterio de proyecto racional de ensayos previos de control. Así fue que el cuerpo de ingenieros adoptó un aparato y método de proyecto de mezclas asfálticas, concebido por Bruce G. Marshall del Departamento de Caminos del estado de Mississippi.

A fin de determinar un método de laboratorio para la compactación de los cuerpos sometidos a prueba y para un criterio de seguridad de las propiedades de ciertas mezclas con el ensayo de Marshall, fue necesario construir un gran número de pistas experimentales, en las cuales se variaban el porcentaje de asfalto y la granulometría de los agregados. Trenes tipo fueron aplicados a estas pistas experimentales un gran número de veces, para determinar el efecto de compactación por el propio tráfico. De dicho estudio el Cuerpo de Ingenieros estableció el siguiente criterio, basado en los resultados obtenidos con el ensayo de Marshall:

- La utilización de este criterio debe ser limitado a las mezclas asfálticas, utilizándose cementos asfálticos de penetración usual, y contenido de agregados con diámetro máximo de una pulgada (2,54 cm.) o menos.
- El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos estableció que para que haya equilibrio entre la estabilidad y la durabilidad los vacíos ocupados por aire en la mezcla total serian limitados entre 3 y 5%.

## 5.2 Propósito

Su propósito es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. También provee información sobre la mezcla asfáltica, sus propiedades, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos.

Los datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos – densidad, y una prueba de estabilidad – flujo de las muestras compactadas.

Las especificaciones del Instituto de Asfalto para mezclas asfálticas calientes se muestran en la siguiente tabla: (Norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559))



**Tabla: 5.2.1.- Criterio de Diseño de mezclas marshall**

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

**Fuente: Página de internet**

**<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt246.pdf> Metodología Marshall**

### 5.3 Equipos Empleados

Los equipos empleados para realizar muestras con el criterio Marshall son:

- Una máquina para la aplicación de la carga vertical, especialmente diseñada para esta clase de prueba, cuya capacidad es de 2724 Kg. (6000 Lb.).
- Moldes para la preparación de muestras de 10.2 cm. de diámetro interior. Cada molde tiene una base metálica y se halla dividida en dos secciones; la sección inferior tiene 7,5 centímetros de altura, y la superior 6,35 cm.



- Un sujetador de molde para facilitar la compactación de la mezcla.
- Un martillo de base circular con 9,8 cm. de diámetro, 4,5 Kg. (10 Lb.) de peso y 46 cm. de caída libre.
- Un dispositivo para las pruebas de estabilidad, especialmente diseñado, y formado por dos segmentos semicirculares cuyo diámetro interior mide 5 cm.
- Un medidor de escurrimiento acoplado al dispositivo anterior.

#### **5.4 Briquetas**

En la preparación de los cuerpos de prueba o briquetas, el agregado y el asfalto son calentados separadamente a temperaturas especificadas, y entonces mezclados y compactados.

Los agregados deben estar dentro de la banda granulométrica establecida, del cual el material debe tener como mínimo el 50% de sus caras fracturadas o angulares.

El ensayo es realizado con briquetas o cuerpos de prueba cilíndricos de 10,16 cm. de diámetro, aproximadamente 6,35 cm. de altura.

En cada molde, se colocaran entre 1000 y 1500 gramos de mezcla. Por lo general el peso de material para elaborar una briqueta es de 1200 gramos.

#### **5.5 Temperatura de Mezclado**

- La temperatura a la cual la emulsión asfáltica será usada es la natural, no necesita de calentamiento.
- La temperatura para la compactación también es la natural.

#### **5.6 Compactación de las Muestras**

A continuación enumeramos el procedimiento a seguir para una buena compactación de las mezclas:

1. Limpiar el molde de ensamblaje de la muestra y la cara del martinete de compactación, y calentarlos en agua hirviendo, o en un horno a una temperatura comprendida entre 93.3 °C y 148.9



°C. Como la emulsión no requiere de calentamiento, se trabaja al ambiente, entonces no se aplica este punto.

2. Colocar una pieza de papel filtro cortada a justo tamaño en el fondo o base del molde antes de introducir la mezcla.
3. Situar la muestra en el molde en su totalidad, golpear la mezcla vigorosamente con una espátula caliente paletando 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces sobre el interior.
4. Remover el collar y alisar la superficie de la mezcla con una paleta para dar una ligera forma redondeada.

Las temperaturas de las mezclas inmediatamente anteriores a la compactación deberán estar dentro de los límites de la temperatura de compactación establecidas anteriormente. No es el caso de las emulsiones.

5. Reponer el collar, colocar una pieza de papel filtro cortado exactamente al tamaño en la parte superior de la mezcla y situar el molde ensamblado en el pedestal de compactación, en el sujetador de molde.
6. Aplicar 75 (50) golpes con el martillo de compactación de 10 libras (4.54 Kg.) de peso con caída libre de 18 pulgadas (457.2mm.). Sostener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde ensamblado durante la compactación.
7. Remover el plato de base y el collar, invertir y re ensamblar el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación a la cara opuesta a la anterior.
8. Después de la compactación remover el plato de base y colocar el extractor de muestras en la parte inferior de la mezcla.
9. Retirar el collar del espécimen o muestra. Cuidadosamente transferir la briqueta a una superficie lisa, llana y dejarla durante una noche a temperatura ambiente.

## 5.7 Ensayos para determinar las Relaciones Volumétricas

Una vez frías las briquetas y extraídas del molde se pesan al aire, y se mide su altura. Luego se debe hacer los siguientes ensayos a la briqueta compactada:

- Densidad Bulk.- Es para determinar el volumen de la briqueta incluyendo vacíos, parámetro fundamental del ensayo Marshall



para definir las propiedades de la mezcla con respecto al porcentaje de vacíos.

- Densidad Máxima (RICE). - Es la relación del peso de un volumen dado de material a 25 °C con respecto al peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. Debe resultar mayor a la Densidad Bulk.
- Análisis de densidad y vacíos. - Es para determinar el peso específico de los materiales. Para evitar discrepancias en la utilización del peso específico aparente, y peso específico Bulk. En suelos gruesos utilizar peso específico Bulk. Para suelos finos adoptar peso específico aparente.
- Para determinar el contenido óptimo de emulsión asfáltica se elaboran las curvas, y el contenido a ser elegido debe satisfacer:
  - El punto de máxima densidad.
  - El punto de máxima estabilidad.
  - El punto de aproximadamente 4% de vacíos.
  - Un punto dentro los límites de fluencia.

Con el contenido óptimo para cada relación, lo que queda por hacer es sacar un promedio

Los valores de estabilidad, según el método Marshall, recomendados para algunos tipos de pavimentos flexibles son los siguientes:

- 454 Kg. (1000 libras) para capas de rodamiento que soportan un tránsito liviano a mediano.
- 781 Kg. (1500 libras) para capas de rodamiento que soporten un tránsito mediano a pesado.

## **5.8 Metodología de Ensayo**

- Reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla.
- Es importante que las mezclas tengan las mismas características a la que va a ser usada como mezcla final, es decir; el mismo tipo de agregados, graduación y las mismas características del asfalto. La



razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla.

- Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera variación en la cantidad de emulsión,  $\pm 0.5$  o  $1.0$  % del diseño original de la mezcla o punto de partida, que en nuestro caso para el reciclado fue  $7,0$  %.
- Cada una de las probetas serán ensayadas, para determinar el peso específico total, estabilidad y fluencia, y además analizar volumen de vacíos. A continuación se deben realizar los ensayos para comprobar sus propiedades mecánicas - dinámicas
- Luego de obtener todos los resultados para los diferentes porcentajes de asfalto, podemos realizar un análisis de las respuestas de las probetas y obtener relaciones que nos permitan determinar el contenido óptimo de asfalto o un aproximado.
- Para entenderlo mejor tenemos 3 series de prueba: la primera serie es la del punto de partida, con un porcentaje de asfalto de  $X\%$ , según sea el análisis de las muestras y agregados  $X\%$ , con ciertas características y granulometría que no deben cambiar para las otras dos series.

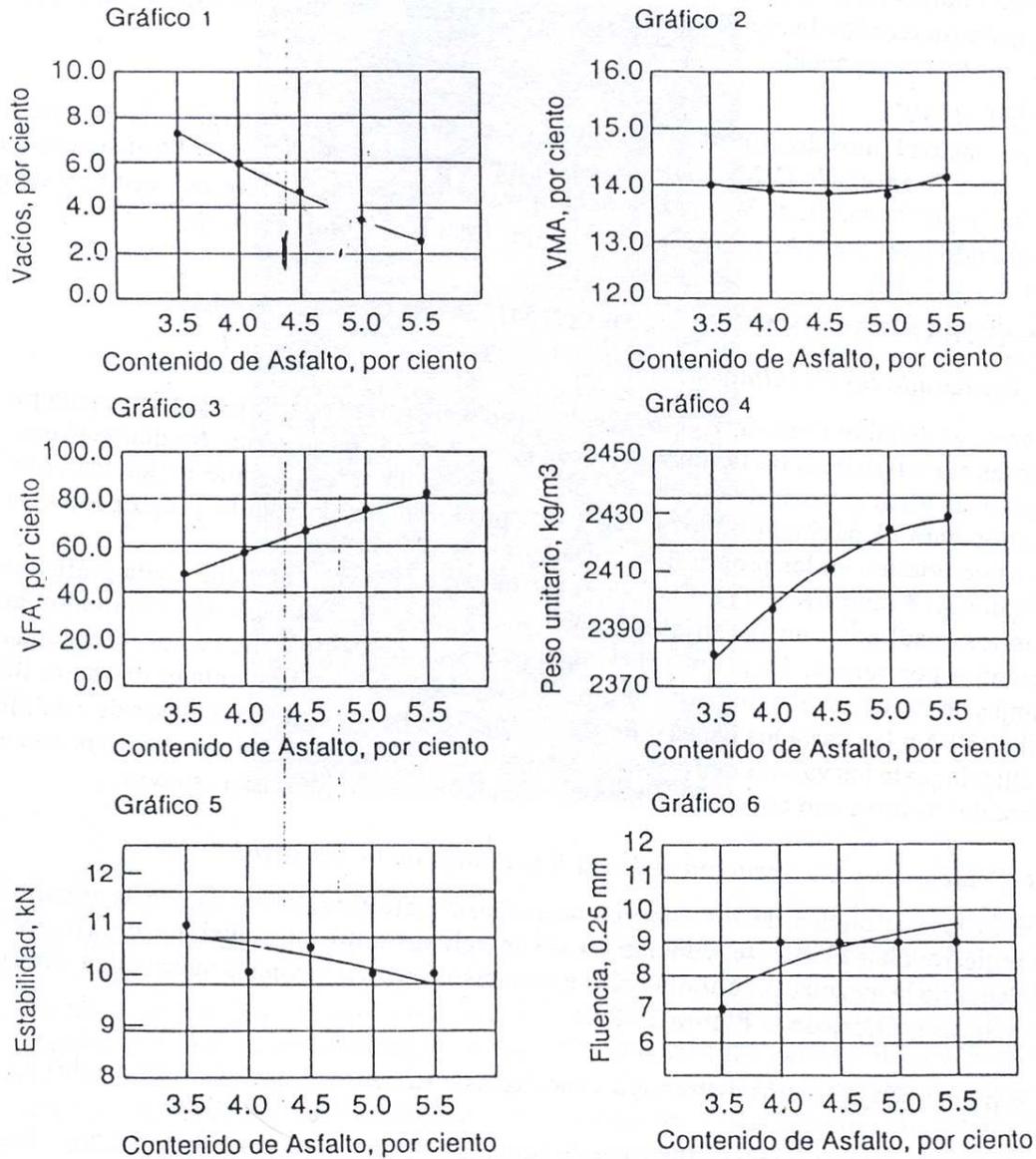
## 5.9 Gráfica de resultados

Por lo general los resultados luego de los ensayos Marshall se los grafica, para poder entender las características particulares de cada probeta usada en la serie. Mediante el estudio de las gráficas podemos determinar cual probeta, de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento terminado. Las relaciones de asfalto y agregado en esta probeta se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final.

La Figura No. 4.2, muestra seis gráficas de resultados de ensayos Marshall. Cada gráfica tiene trazados los resultados de las diferentes pruebas. Los valores de estos resultados están representados por puntos. La primera gráfica muestra los porcentajes de vacíos; la segunda los porcentajes de vacíos en el agregado mineral ( $V_{ma}$ ); la tercera los porcentajes de vacíos llenos de asfalto ( $V_{fa}$ ); la cuarta los pesos unitarios (densidades); la quinta los valores de estabilidad Marshall; y la sexta los valores de fluencia Marshall. En cada gráfica,



los puntos que representan los diferentes valores son conectados mediante líneas para formar curvas suaves.



**Fig. 5.9.1 Ejemplo de gráficas para los resultados de una serie de cinco briquetas**



## 5.10 Relaciones y Observaciones de los Resultados

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, como las de la Figura No. 4.2., usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto o emulsión y las propiedades de la mezcla. A continuación explicaremos algunas de estas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas:

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto o emulsión (Gráfico 1).
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral ( $V_{ma}$ ) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con un mayor porcentaje en el contenido de asfalto (Gráfico 2).
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto ( $V_{fa}$ ) aumenta con un mayor porcentaje en el contenido de asfalto. (Gráfico 3).
- La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad (Gráfico 4).
- Hasta cierto punto los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto (Gráfico 5).
- Los valores de fluencia aumentan con un mayor porcentaje en el contenido de asfalto (Gráfico 6).

## 5.11 Determinación del contenido Óptimo de asfalto (Emulsión)

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero determinamos el contenido de asfalto o emulsión para el cual el contenido de vacíos es de 4%. Luego, evaluaremos todas las propiedades medidas para este contenido de asfalto, y las compararemos con los criterios de diseño Marshall. Si se cumplen todos los criterios y tiene buenas respuestas mecánicas, entonces hemos encontrado el contenido óptimo de asfalto o emulsión.



## 5.12 Verificación de Criterios de Diseño

Usando los datos de la Figura No. 5.2. podemos observar que el contenido de emulsión (Gráfico 1) y utilizando agregados vírgenes, con un contenido de vacío de 4%, es de 9,6%; emulsión mas agregado reciclado, con contenido de vacíos de 4%, es de 7.0%; y por último Diluido asfáltico SC-250 y agregado reciclado, con contenido de vacíos de 4%, es de 4.75%. Los valores de las propiedades mecánicas de la mezcla luego son revisados para garantizar los criterios según diseño Marshall.

Podemos ahora comparar estos valores con los resultados de los trabajos anteriores, observar los diversos módulos obtenidos de las pruebas realizadas. EL valor de estabilidad, el valor de flujo y los esfuerzos obtenidos por el ensayo de tracción indirecta.



# CAPITULO 6

**Equipo N.A.T (Nottingham Asphalt Tester)**



## **CAPITULO 6**

### **EQUIPO N.A.T. (NOTTINGHAM ASPHALT TESTER)**

El equipo Nottingham Asphalt Tester (N.A.T.) fue diseñado por la empresa “Cooper Research Technology” para evaluar las propiedades mecánicas de materiales asfálticos para pavimentos; esta máquina permite la realización de nuevos diseños de mezcla, la caracterización de nuevos materiales, la valoración de pavimentos en servicio y el control de calidad entre otras aplicaciones.



**Fig. 6.1 Equipo N.A.T.**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**

El N.A.T. usa un computador por medio de una interfaz de adquisición de datos para realizar las pruebas y procesar los datos obtenidos de los ensayos dinámicos, para este fin utiliza un software especialmente desarrollado, que guía al usuario paso a paso en cada procedimiento.

## **6.1 Partes del Equipo**

El equipo consta de: el marco de carga, un sistema hidráulico, el sistema de adquisición de datos con panel de control, transductores y la cámara de temperatura controlada.

**Marco de carga:** El marco de carga consta de:



- Una placa base con una incisión centrada que asegura otras estructuras más pequeñas.
- Dos columnas.
- Una cabeza móvil en acero inoxidable que soporta al cilindro pistón y en el movimiento genera deflexiones mínimas.
- Un cilindro pistón hidráulico para la aplicación de cargas verticales de 0 a 10 Kn con frecuencias hasta de 50 Hz y con una exactitud de 0,001 kN.
- Una servo válvula conectada al cilindro pistón y controlada por una señal de corriente eléctrica desde un servo amplificador.
- Un LVDT (transductor de desplazamiento) fijado en la parte superior del móvil.
- Una celda de carga que puede medir fuerzas hasta de 20 kN, atornillada a la barra de extensión del cilindro pistón.

El marco de carga servo-hidráulico facilita la realización de las pruebas con muestras elaboradas en laboratorio (briquetas) o directamente de la vía (núcleos)



**Fig. 6.1.1 Partes del equipo**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**



### ***Sistema hidráulico:***

El sistema hidráulico está compuesto de una bomba eléctrica y un tanque que tiene una potencia de 2,2 kW. La función de este sistema es suministrar aceite hidráulico por medio de dos mangueras, una de salida y una de retorno a la presión y temperatura correcta al sistema servo válvula y cilindro pistón. El encendido y apagado de la bomba eléctrica es controlado por un tablero de control.

### ***Sistema de adquisición de datos y paneles de control:***

El sistema de adquisición de datos y el módulo de control comprenden una unidad de interfase y una tarjeta multifunciones.

Por medio de una interfase, de una fuente y un circuito que acondiciona los datos se obtienen las señales de la bomba, la servo válvula, la celda de carga, las termocuplas y los transductores de desplazamiento (LVDTs).

### ***Transductores:***

Son los dispositivos que convierten las magnitudes físicas en señales eléctricas, codificadas en forma análoga o digital. La celda de carga junto a los transductores de desplazamiento LVDTs. (Transformador Diferencial de Variación Lineal) presentan los valores de esfuerzo aplicado y deformación obtenida.

Un LVDT consiste de un bobinado primario, dos bobinados secundarios iguales y una armadura magnética móvil. El bobinado primario funciona con corriente alterna y los dos bobinados secundarios son conectados para que su salida combinada represente la diferencia en el voltaje inducido en ellos. El movimiento de la armadura cambia esta salida y produce una salida de corriente alterna que es proporcional a la distancia de la armadura desde la posición central (salida cero).



**Fig 6.1.2 Transductores**



### ***Cámara de temperatura controlada:***

La cámara de temperatura controlada puede establecer temperaturas en el rango de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+60^{\circ}\text{C}$ , con una fluctuación en la temperatura dentro de la cabina de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  y una unidad de cambio de  $0,5^{\circ}\text{C}$ .



**Fig. 6.1.3 Control de temperatura**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**

La cámara de temperatura presenta las siguientes especificaciones generales como se muestra a continuación.

- Rango de temperaturas:  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $+60^{\circ}\text{C}$
- Enfriamiento: 395 g. R404a
- Capacidad de refrigeración: 560W
- Capacidad de calentamiento: 1.5KW
- Conexión: 230V
- Volumen: 625L - 22 cu ft
- Dimensiones: L2000mm\*P815mm\*A710mm
- Peso: 195kg



## 6.2. Control de temperatura en los ensayos.

Es esencial el control de la temperatura, tanto en el almacenamiento previo al ensayo como en el mismo ensayo.

Se observa en ensayos anteriores del laboratorio que un cambio en la temperatura puede causar una variación significativa en los resultados de rigidez. Por lo tanto se deben verificar que la lectura de las termocuplas corresponda a la temperatura en el panel de control del equipo N.A.T. Las termocuplas del laboratorio son de tipo K, cuyas características son:



**Fig. 6.2.1 Termocuplas**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**

- 3 Material: Cromo y Alumel
- 4 Buena resistencia a la oxidación
- 5 Rango: 0°C a +1.370°C y 600°C a 1.000°C en atmósferas oxidantes
- 6 Precisión:  $\pm 1^\circ\text{C}$  y calibración

### ***Celda de carga:***

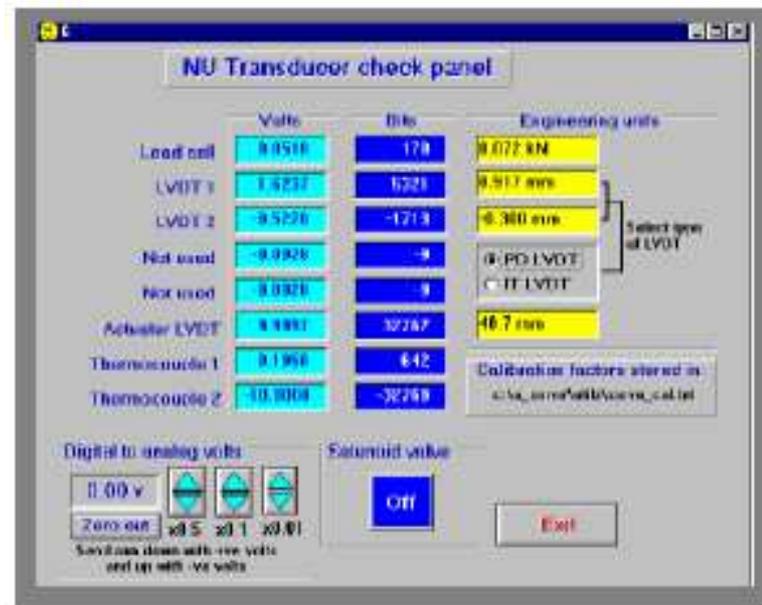
La celda de carga mide el nivel de esfuerzo en la probeta durante el ensayo, además de tener controlada la deformación y la frecuencia.



### 6.3. Software de Calibración

*Calcheck:*

Es el software encargado de la calibración de la instrumentación en el equipo NAT.



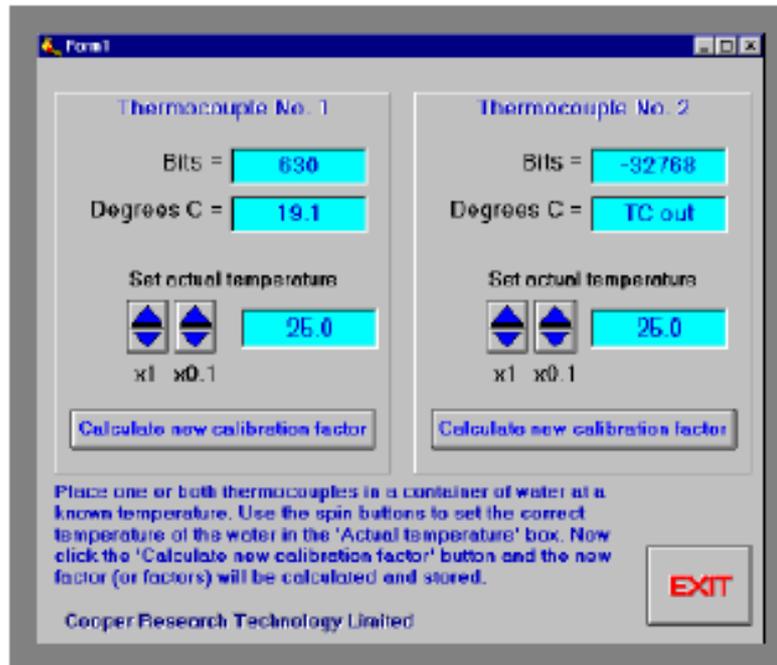
**Fig. 6.3.1 Programa Calcheck**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**

*Thermal:*

Realiza la calibración de las dos termocuplas. Para este fin se sumergen ambas termocuplas en un recipiente que contenga agua a una temperatura conocida, luego se corrige la temperatura de las termocuplas en el recuadro de temperatura actual (set actual temperature) de la ventana Thermal, respecto de la temperatura del agua, utilizando las flechas.

Luego se oprime el botón de calibración y quedan calculados los nuevos factores de calibración.



**Fig. 6.3.2 Programa Thermal**

**Fuente: Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”**

*Caltry:*

Programa para calibrar los transductores del marco de carga y se usa para verificar que el LVDT y los transductores de la celda de carga estén correctamente conectados garantizando que la servoválvula responda desde el computador. Se debe tener especial precaución de no correr Caltry cuando el marco de carga tenga una muestra o algo que impida al bastidor moverse libremente pues el bastidor puede llegar a torcer su barra de extensión y la celda de carga.

## 6.4 Software de Ensayos

*ITSM:* Software para determinar el módulo dinámico elástico de mezcla asfálticas, aplicando una tensión indirecta diametral para alcanzar una deformación horizontal objetivo (deformación controlada) en muestras cilíndricas.



*ITST*: Software para determinar el módulo dinámico elástico de mezclas asfálticas, aplicando una tensión indirecta diametral a un esfuerzo objetivo (esfuerzo controlado) en muestras cilíndricas.

*CREEP*: Software para determinar la deformación permanente de mezclas asfálticas por medio de la aplicación de carga estática uniaxial sin confinamiento en muestras cilíndricas.

*RLA*: Software para determinar la deformación permanente de mezclas asfálticas por medio de la aplicación de carga dinámica uniaxial sin confinamiento en muestras cilíndricas.

*ITFT*: Software para determinar la resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas, por medio de la aplicación de tensión indirecta a un esfuerzo objetivo (esfuerzo controlado) en muestras cilíndricas.

*RLT*: Software para realizar pruebas de carga repetida axial (pulsos de carga) en muestras cilíndricas, utilizando transductores para medir deformaciones axiales y radiales. Este software puede usarse para la realización de ensayos de vacío triaxial o inconfinado.



# CAPITULO 7

## COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA MEZCLA



## **CAPITULO 7**

### **7.1. Introducción**

El comportamiento en obra de muchas mezclas asfálticas en las zonas de la ciudad ha sido deficiente y el problema fundamental ha sido el agrietamiento prematuro, además de un mal desempeño en épocas lluviosas y sin tratamiento de prevención adecuado. El estudio de esta situación en el marco de la tecnología convencional que existía hasta hace muy poco en el País, basada sólo en el Método Marshall es insuficiente. Por esta razón la puesta en funcionamiento del equipo Nottingham Asphalt Tester modelo NU-10 en el laboratorio de pavimentos de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, el cual permite evaluar las propiedades dinámicas en las mezclas tales como Módulo de Rigidez.

El objetivo del estudio es valorar la incidencia de distintos porcentajes de contenido de emulsión asfáltica y diferentes agregados (vírgenes y reciclados), en una mezcla asfáltica fría, que tomando como parámetros las especificaciones del Método Marshall, permitan, después de realizar los diferentes ensayos, hacer las comparaciones de las mezclas calientes convencionales y las mezclas frías, el comportamiento dinámico de las mezclas fabricadas en la planta y en laboratorio.



## 7.2. Antecedentes

Es reconocida la interacción entre el comportamiento del pavimento bajo las cargas y las propiedades mecánicas de todas las capas que lo conforman.

El proceso de diseño estructural de los pavimentos por métodos mecanicistas - empíricos, al igual que para otras estructuras de la ingeniería civil, se basa en la determinación en distintos puntos del pavimento de los esfuerzos críticos que, introducidos en diferentes leyes de falla, permitan establecer si para el período de proyecto, los deterioros del pavimento se mantendrán dentro de ciertos límites de aceptabilidad que no afecten el nivel de servicio ofrecido al usuario. Si esta condición no se verifica, deberá modificarse adecuadamente los espesores o materiales empleados en una o más capas componentes. Ya que este trabajo se refiere a las mezclas asfálticas frías puede considerarse necesarias las propiedades mecánicas como el módulo de rigidez.

Se ha demostrado por medio de varias investigaciones anteriores que el módulo de rigidez juega un papel predominante en el comportamiento a la fatiga. Las variables que afectan la rigidez, tales como el contenido de ligante, su tipo, y el grado de compactación de la mezcla afectarán también a la fatiga. La rigidez de la capa asfáltica influye en la deformación por tracción (en la parte inferior de dicha capa) de manera opuesta que en la tensión. Es decir, al incrementarse la rigidez se reduce la deformación y aumenta la tensión de la capa. Por tanto: Una capa rígida es deseable para prevenir el inicio de las grietas pero acelerará su subsiguiente propagación.

## 7.3 Evaluación de las Propiedades Dinámicas de la Mezcla

Por medio del equipo NAT modelo NU-10, se realizaron ensayos, el cual aplica las cargas mediante un sistema neumático con servo-control, midiéndose la fuerza aplicada por el transductor de la celda de carga. El equipo utiliza una computadora IBM Pentium (o compatible) junto con un sistema que permite desarrollar las distintas pruebas y procesar la información a través de programas especialmente escritos.

En general se realizó una prueba dinámica: el módulo de rigidez.



### 7.3.1. Ensayo Módulo Dinámico

El módulo de rigidez de la mezcla indica la capacidad de distribuir la carga y proteger las capas subyacentes. Es una propiedad dominante en el comportamiento del pavimento. Ya que los materiales bituminosos son visco-elásticos este; módulo varía con la temperatura y la velocidad de aplicación de la carga. En el manual de diseño AASHTO (1993), sección 2.3.5 se plantea que deberán tomarse precauciones cuando los módulos a 20°C superan los 3150 MPa, ya que si bien la mezcla es más rígida y más resistente a la flexión, estas también serán más susceptibles a las fisuraciones térmicas.

El módulo de rigidez se evalúa a la temperatura de 20°C empleando un nivel de deformación controlada de 5 micro strain y ondas sinusoidales con intervalo de tiempo entre el inicio del pulso de carga y el punto en el que la carga es máxima (el tiempo de aplicación de la carga es de 0.12 segundos).

En el método de medición diametral del módulo dinámico de mezclas de pavimentos, una repetida línea de carga es aplicada a través del diámetro vertical del espécimen cilíndrico. Esta carga produce esfuerzos de tensión horizontal y esfuerzos de compresión vertical en el diámetro horizontal.

Para estimar el módulo dinámico del material, asumimos que:

- El espécimen está sometido a un plano de esfuerzos.
- El material es elástico lineal.
- El material es homogéneo e isotrópico.
- La relación de Poisson es conocida (usualmente el valor de 0.35 es asumido para materiales asfálticos).
- La carga vertical es aplicada como una línea de carga.

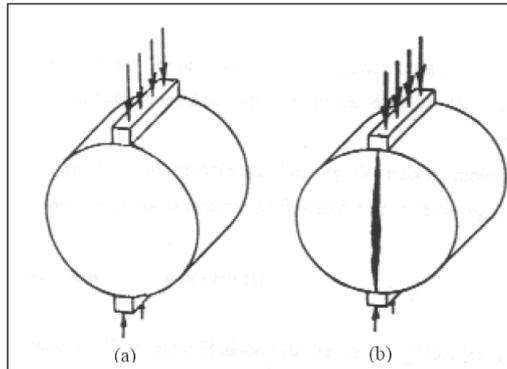
### 7.3.2 Ensayo de Tracción Indirecta

*“El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción.”*

#### 7.3.2 Página de Internet

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6324/12/11.pdf>

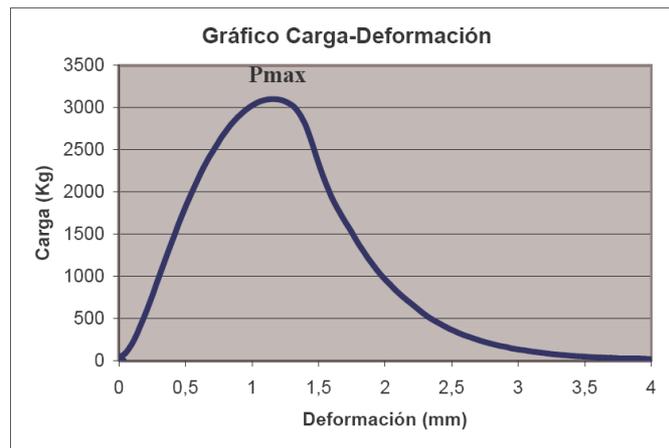
“El ensayo consiste en cargar una briqueta cilíndrica, igual a la definida para el ensayo Marshall, con una carga de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas” (figura 7.3.2.1). Esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carga vertical y esta tracción es la que agota la briqueta y desencadena la rotura en el plano diametral (ver fig. 2.3.1.1)



**Fig. 7.3.2.1 Configuración de la carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b)**

**Fuente: Página de internet**  
**<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/9/507779.pdf> Ensayo de tracción indirecta**

El parámetro a medir es la carga de rotura de la briqueta (figura 7.3.2.2). También se puede determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la briqueta durante la realización del ensayo si se dispone de los sistemas necesarios para medirlos.



**Fig. 7.3.2.2.- Curva carga-deformación resultante del ensayo de tracción indirecta**



“El departamento de carreteras del estado de Texas impulsó unos estudios dirigidos por Thomas Kennedy de la Universidad de Austin en los cuales presentó las ventajas básicas del ensayo:”<sup>7</sup>

- *El ensayo es relativamente sencillo.*
- *El tipo de muestra y el equipo son los mismos que los utilizados para otros ensayos.*
- *La rotura no se ve afectada por las condiciones de la superficie de la briqueta.*
- *La rotura se inicia en una región relativamente uniforme de tensiones de tracción.*
- *El coeficiente de variación de los resultados de los ensayos es relativamente bajo comparado con otros métodos.*
- *El ensayo puede utilizarse bajo carga estática y permite modificar la prensa para aplicar cargas dinámicas en función del tipo de estudio que se realice.”<sup>7</sup>*

El ensayo proporciona información sobre: propiedades elásticas resilientes, fisuración térmica, fisuración por fatiga, deformación permanente y puede utilizarse para evaluar el efecto de la humedad en mezclas bituminosas.

Durante varios estudios se ha encontrado que en un “rango de temperaturas entre 10°C y 25°C el valor de la resistencia varía de forma lineal, evidenciando el predominio de la componente elástica, mientras que pasados los 30°C la función adquiere una tendencia parabólica prevaleciendo en este rango la componente viscosa, con resultados con mayores dispersiones.”<sup>7</sup>

El ensayo de tracción indirecta puede ser utilizado, respetando ciertos límites de temperatura, para conocer la resistencia a tracción de una mezcla bituminosa y que el módulo obtenido correlaciona con el determinado a compresión para frecuencias aproximadas a las del tráfico.

Para este ensayo se utiliza un aparato de compresión motorizada, el cual las cargas son indicadas en anillos de armazón que tienen una capacidad de 500 libras y una sensibilidad de 1/10 libras. El indicador del dial del anillo es graduado a 0.001 pulgadas y con un rango de 1.000 pulgadas.

#### **7. Página de Internet**

**<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6324/12/11.pdf>**



Las lecturas en el dial son convertidas en cargas aplicadas al espécimen usando la curva o factor de calibración que es proporcionada con la propiedad de la máquina. La velocidad de operación es controlada por una válvula que tiene una aguja sensible que puede ser ajustada antes o durante la prueba.

Pasos para el ensayo:

- 1 Se toma las dimensiones de la briqueta a ensayar.
- 2 Se lleva la briqueta a un refrigerador para que tenga la temperatura seleccionada para el ensayo, en este caso 10°C durante unas 24 horas.
- 3 Se saca la briqueta del refrigerador y se la coloca en el pórtico.
- 4 Luego se procede a revisar que encaje las ranuras con el espécimen.
- 5 Se lleva todo esto dentro del aparato de compresión motorizada (vea foto 7.3.2.3)
- 6 Se enciende el motor de la máquina y se mira fijamente el dial tanto del esfuerzo como del anillo de armazón para tomar las lecturas.
- 7 Se saca la briqueta de la máquina.



**Fig. 7.3.2.3. Aparato de compresión motorizada, colocación del espécimen y ensayo de la briqueta**



Con estos resultados del dial y la deformación se aplica la siguiente fórmula:

$$R_{TI} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times h}$$

Donde:

$R_{TI}$  = es la tracción indirecta (kg/cm<sup>2</sup>)

P = carga (Kg)

D = diámetro de la briqueta (cm)

h = altura de la briqueta (cm)



# CAPITULO 8

## DISEÑOS REALIZADOS



## **CAPITULO 8**

### **Diseño óptimo de las Mezclas**



## 8.1 Diseño de Mezcla óptima con Emulsión y Agregados vírgenes

<b>AGREGADO 3/4"</b>				<b>AGREGADO 3/8"</b>			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUMULADO	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUMULADO
3/4"	17	0,5	99,5	3/4"			
1/2"	880	25,9	74,1	1/2"			100
3/8"	1475	43,4	56,6	3/8"	80	2,6	97,4
Nº4	2800	82,4	17,6	Nº4	2245	88,6	11,4
Nº8	3255	95,7	4,3	Nº8	2775	89,5	10,5
Nº50	3350	98,5	1,5	Nº50	2980	96,1	3,9
Nº200	3385	99,6	0,4	Nº200	3060	98,7	1,3
TOTAL	3400			TOTAL	3100		

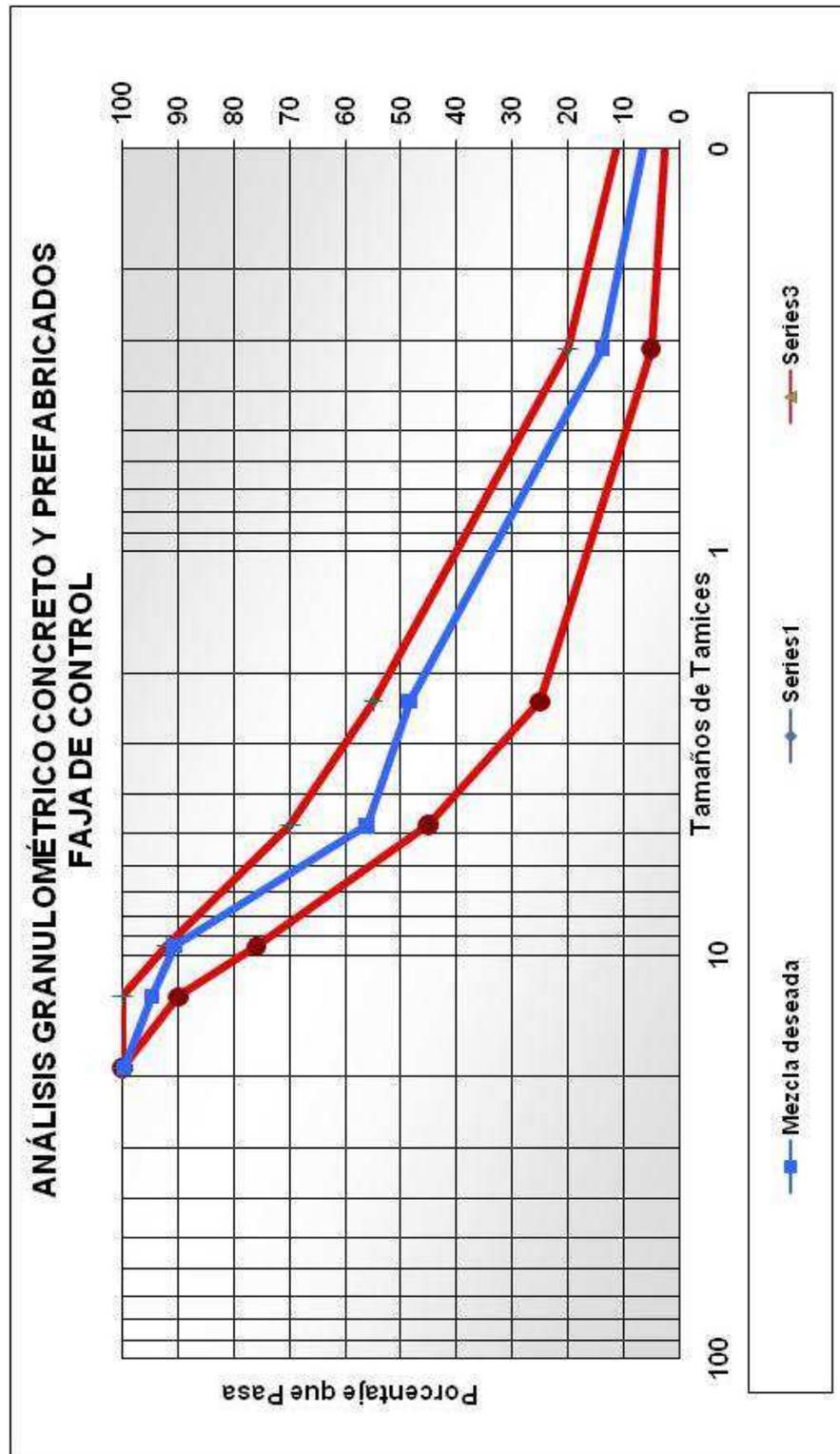
  

<b>ARENA #1</b>				<b>ARENA NATURAL</b>			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUMULADO	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASANTE ACUMULADO
3/4"				3/4"			
1/2"				1/2"			
3/8"			100	3/8"	3	0,3	99,7
Nº4	5	0,5	99,5	Nº4	40	3,3	96,7
Nº8	155	16,4	83,6	Nº8	80	6,6	93,4
Nº16	520	55	45	Nº16	220	18,3	81,7
Nº30	610	64,6	35,4	Nº30	310	25,7	74,3
Nº50	760	80,4	19,6	Nº50	848	70,4	29,6
Nº100	800	84,6	14,4	Nº100	1055	87,6	12,4
Nº200	865	91,5	8,5	Nº200	1100	91,3	8,7
TOTAL	945			TOTAL	1205		

<b>DISEÑO DE MEZCLAS DE ARIDOS</b>											
<b>GRADUACION DEL MATERIAL</b>											
Tamaño del Tamiz	Porcentaje usado	Tamaño del Tamiz - Porcentaje que pasa									
		3/4	1/2	3/8	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
3/4		99.5	74.1	56.6	17.6	4.3	-	-	1.5	-	0.4
3/8		100	100	97.4	11.4	10.5	-	-	3.9	-	1.3
Arena Nº 1		100	100	100	99.5	83.6	45.0	35.4	19.6	14.4	8.5
Arena Río		100	100	100	96.7	93.4	81.7	74.3	29.6	12.4	8.7
<b>Especificaciones deseadas</b>		100	90-100	-	45-70	25-55	-	-	5-20.0	-	2-9.0

<b>GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS</b>											
Tamaño del Tamiz	Porcentaje usado	Tamaño del Tamiz - Porcentaje que pasa									
		3/4	1/2	3/8	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
3/4	20	19.9	14.82	11.32	3.52	0.86	-	-	0.3	-	0.08
3/8	30	30	30	29.22	3.42	3.15	-	-	1.17	-	0.39
Arena Nº 1	25	25	25	25	24.86	20.9	11.25	8.85	4.9	3.6	2.13
Arena Río	25	25	25	25	24.18	23.35	20.43	18.56	7.4	3.1	2.18
<b>Mezcla deseada</b>		99.9	94.82	90.54	55.98	48.26	31.68	27.41	13.77	6.7	4.78





Preparación de los Pastones a ensayar (en gramos)					
Peso	1200	% Emulsión	8,9%	% W	4,00%
<b>Tamaño del Tamiz</b>	<b>Porcentaje usado</b>	<b>Cant. Parcial gr.</b>			
3/4	20%	240			
3/8	30%	360			
Arena N° 1	25%	300			
Arena Río	25%	300			
Agua	4%	48			
Emulsión	8,9%	106,8			
Nota: El peso es para fabricar una sola briqueta, como se elaborarán 3 testigos, entonces se multiplica por 3 a todo					
Peso	1200	% Emulsión	9,9%	% W	4,00%
<b>Tamaño del Tamiz</b>	<b>Porcentaje usado</b>	<b>Cant. Parcial gr.</b>			
3/4	20%	240			
3/8	30%	360			
Arena N° 1	25%	300			
Arena Río	25%	300			
Agua	4%	48			
Emulsión	9,9%	118,8			
Nota: El peso es para fabricar una sola briqueta, como se elaborarán 6 testigos, entonces se multiplica por 6 a todo					
Peso	1200	% Emulsión	10,9%	% W	4,00%
<b>Tamaño del Tamiz</b>	<b>Porcentaje usado</b>	<b>Cant. Parcial gr.</b>			
3/4	20%	240			
3/8	30%	360			
Arena N° 1	25%	300			
Arena Río	25%	300			
Agua	4%	48			
Emulsión	10,9%	130,8			
Nota: El peso es para fabricar una sola briqueta, como se elaborarán 6 testigos, entonces se multiplica por 6 a todo					

N° golpes 50

Muestra No	% emul por peso de mezcla	Peso Muestra (grs.)			Volumen	Grav. Esp. de masa de muestra compac	Grav. Esp. Max. De Mezcla	% Vacios	%V.M.A	Dial (kg)	Correc. (kg)	FLUJO	Fact. Correc.
		en aire	en agua	sat. Sup. Seca en aire									
1	8,9	1120	553	1126	573	1,95				1800	1548	10	0,86
2	8,9	1087	535	1087	552	1,97				1800	1602	10	0,89
3	8,9	1166	573	1166	593	1,97				1790	1450	11	0,81
						1,96	2,088	5,95	18,73		1533	10,3	
A1	9,9	957	470	957	487	1,97				1725	1880	12	1,09
A2	9,9	1069	529	1069	540	1,98				1830	1702	13	0,93
A3	9,9	1136	570	1136	566	2,01				1870	1552	14	0,83
						1,98	2,062	3,78	18,39		1711	13,0	
A4	9,9	1161	578	1161,3	583,3	1,99				1849	1535	13	0,83
A5	9,9	616	309	616,3	307,3	2,00				740	2057	13	2,78
A6	9,9	1156	586	1163	577	2,00				1560	1295	14	0,83
						2,00	2,062	3,03	17,75		1629	13,3	
B1	10,9	1050	509	1050,3	541,3	1,94				1830	1702	14	0,93
B2	10,9	1040	507	1040,2	533,2	1,95				1693	1574	15	0,93
B3	10,9	981	482	981,4	499,4	1,96				1739	1809	16	1,04
						1,95	2,020	3,40	20,23		1695	15,0	
B4	10,9	1060	521	1060	539	1,97				1735	1614	17	0,93
B5	10,9	1126	552	1126,2	574,2	1,96				1756	1457	17	0,83
B6	10,9	1178	581	1178,2	597,2	1,97				1713	1388	17	0,81
						1,97	2,020	2,65	19,61		1486	17	

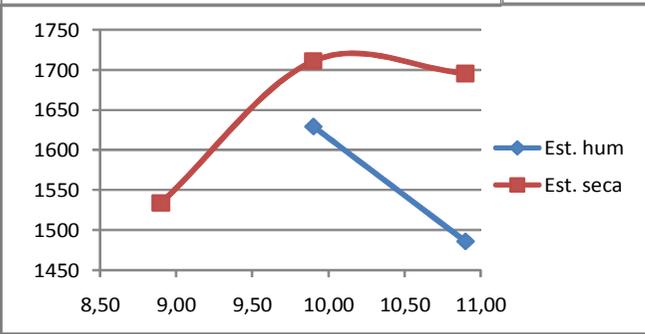
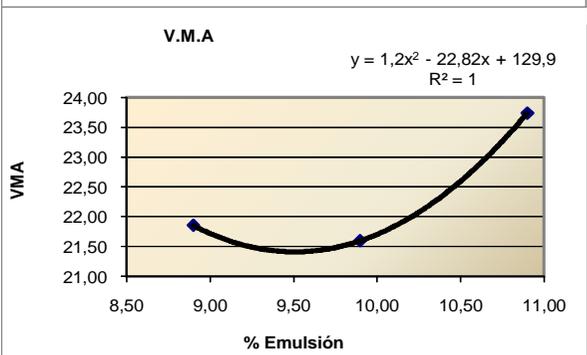
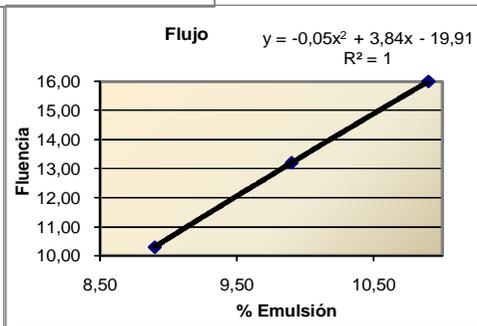
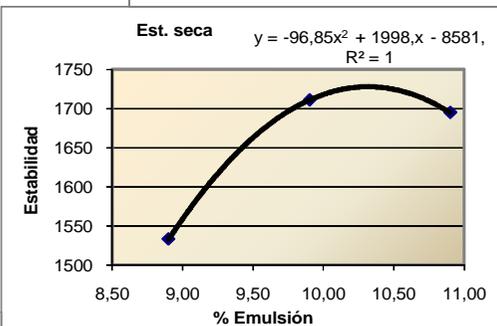
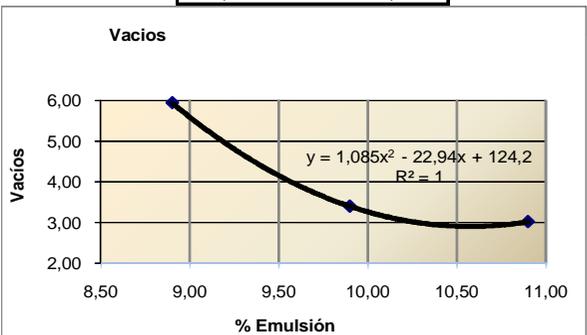
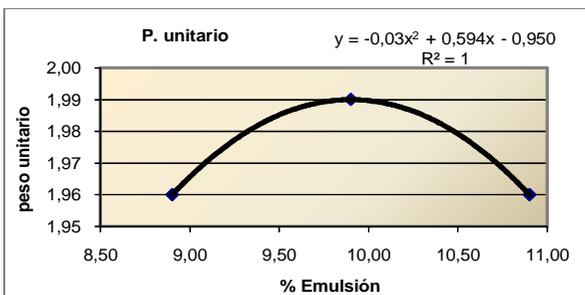
Diseño de mezcla óptima - Marshall



% emul	VMA	Vacios	PE	Est. seca	Est. hum	fluencia
8,90	21,86	5,95	1,96	1533		10,30
9,90	21,60	3,40	1,99	1711	1629	13,20
10,90	23,74	3,02	1,96	1695	1486	16,00

% Optimo

% Emul	% Vacios
9,6	4,0

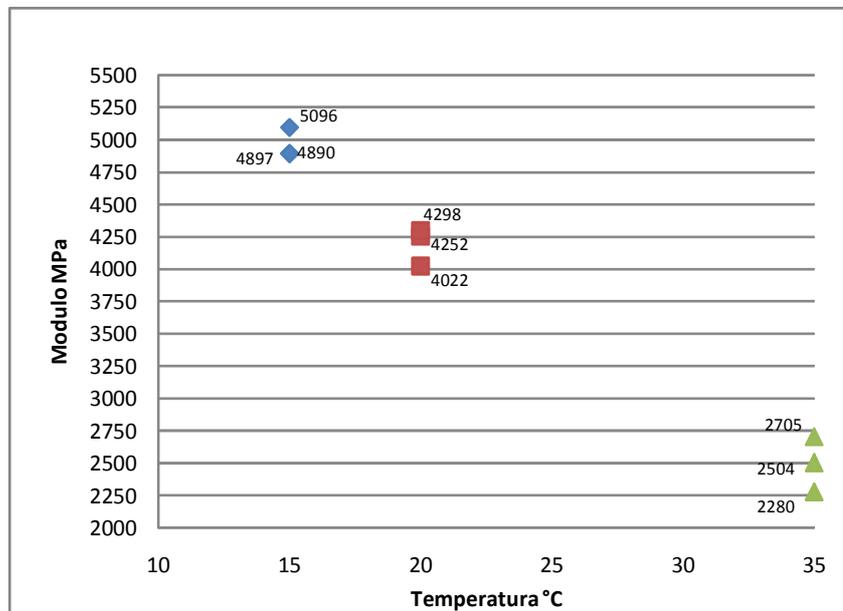




**MODULOS DINAMICOS**

**Agregado virgen y % Emulsión óptimo**

Temperatura	% Emul	Módulo (Mpa)
15		4890
15	9,6	5096
15		4897
Prom		<b>4961</b>
20		4252
20	9,6	4022
20		4298
Prom		<b>4191</b>
35		2705
35	9,6	2280
35		2504
Prom		<b>2496</b>



**Esfuerzo a Tracción Indirecta**

Temp 10°C  
Nº Golpes 50

**Agregado virgen y Emulsión Optima 9,6% (A)**

Briqueta	φ (cm)	esp (cm)	carga (kg)	Esf. (kg/cm2)
C1	10,2	6,2	628	6,3
C2	10,2	6,7	663	6,2
C3	10,2	6,6	705	6,7
C4	10,2	7,0	690	6,2
C5	10,2	7,1	852	7,5
C6	10,2	6,0	550	5,7
				<b>6,4</b>



## 8.2 Diseño de Mezcla óptima con Emulsión y agregados reciclados

### EXTRACCION DE ASFALTO

MUESTRA Reciclado carpeta FECHA \_\_\_\_\_

W1 = PESO ANTES DE LA EXTRACCION W1 = 1000 grs

Peso Filtro 1 \_\_\_\_\_  
Peso Filtro 2 \_\_\_\_\_  
Peso Filtro 3 \_\_\_\_\_  
Σ1 9,0

W2 = PESO ANTES DE LA EXTRACCION W2 = 953,0

Peso filtro 1 \_\_\_\_\_  
Peso filtro 2 \_\_\_\_\_  
Peso filtro 3 \_\_\_\_\_  
Σ2 12,1

W3 = W2 - W1 W3 = 3,1

W4 = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (CC)

W4 = 1400\*0,001= 1,4

% ASFALTO = ((W1 - (W2+W3+W4))/W1)\*100

% ASFALTO = 4,25

### ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RECICLADO

TAMIZ	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3/4"			
1/2"	24	2,6	97,4
3/8"	63	6,8	93,2
Nº4	210	22,7	77,3
Nº8	347	37,5	62,5
Nº10	373	40,3	59,7
Nº30	604	65,3	34,7
Nº50	782	84,5	15,5
Nº100			
Nº200	900	97,3	2,7
TOTAL	953		

**Diseño para determinar la mezcla óptima - Marshall**



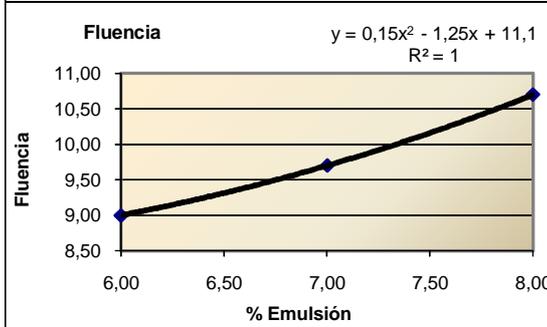
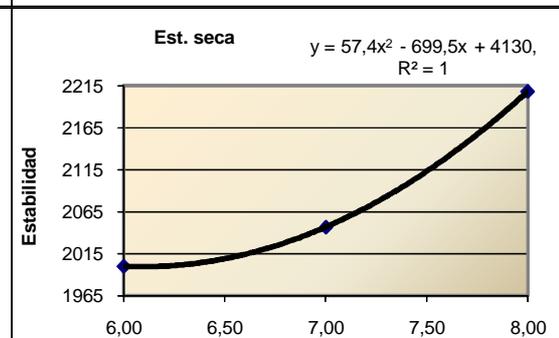
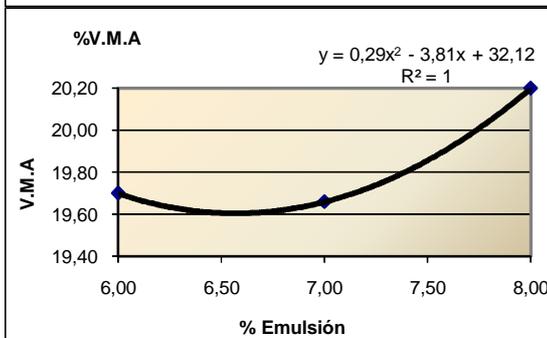
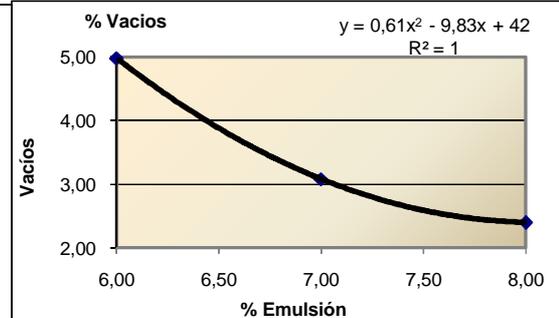
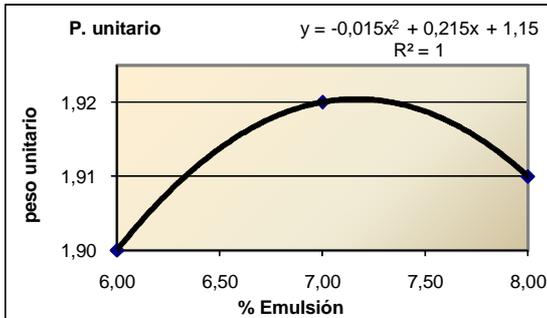
Nº GOLPES 50

Muestra Nº	% emul por peso de mezcla	Peso Muestra (grs.)			Volumen	Grav. Esp. de masa de muestra compac	Grav. Esp. Max. De Mezcla	% Vacios	%V.M.A	Dial (kg)	Correc. (kg)	FLUJO	Fact. Correc.
		en aire	en agua	sat. Sup. Seca en aire									
R1	6	980	463,5	981	517,5	1,89				1980	1980	10	1
R3	6	983,8	468,8	984,4	515,6	1,91				1974	1974	9	1
R5	6	957,5	456,8	957,9	501,1	1,91				1967	2046	8	1,04
						1,90	2,00	4,98	19,7		2000	9,0	
R2	6	1020	490	1020,1	530,1	1,92				1940	1862	11	0,96
R4	6	967,1	469	967,5	498,5	1,94				1936	2013	11	1,04
R6	6	962,3	467,7	963,7	496	1,94				1973	2052	12	1,04
						1,93	2,00	3,46	18,37		1976	11,3	
R7	7	951,3	456,1	952,5	496,4	1,92				1946	2024	9	1,04
R9	7	938,1	447,5	938,3	490,8	1,91				1970	2147	10	1,09
R11	7	984,5	472,1	985,3	513,2	1,92				1969	1969	10	1
						1,92	1,98	3,08	19,66		2047	9,7	
R8	7	922,4	443,8	922,9	479,1	1,93				1935	2206	11	1,14
R10	7	965,3	464,7	966,4	501,7	1,92				2020	2101	12	1,04
R12	7	1018,5	489,7	1019,6	529,9	1,92				2080	1997	12	0,96
						1,92	1,98	2,66	19,31		2101	11,7	
R13	8	863,1	413,6	865,3	451,7	1,91				1916	1987	10	1,25
R15	8	965,7	462	966,5	504,5	1,91				1976	2055	10	1,04
R17	8	941	451,5	942,5	491	1,92				1995	2175	12	1,09
						1,91	1,96	2,40	20,20		2072	10,7	
R14	8	984,8	478,5	985	506,5	1,94				1967	1967	11	1
R16	8	1038,7	503,7	1038,7	535	1,94				2030	1888	13	0,93
R18	8	1027	494	1027	533	1,93				2061	1979	13	0,96
						1,93	1,96	1,79	19,71		1944	12,3	



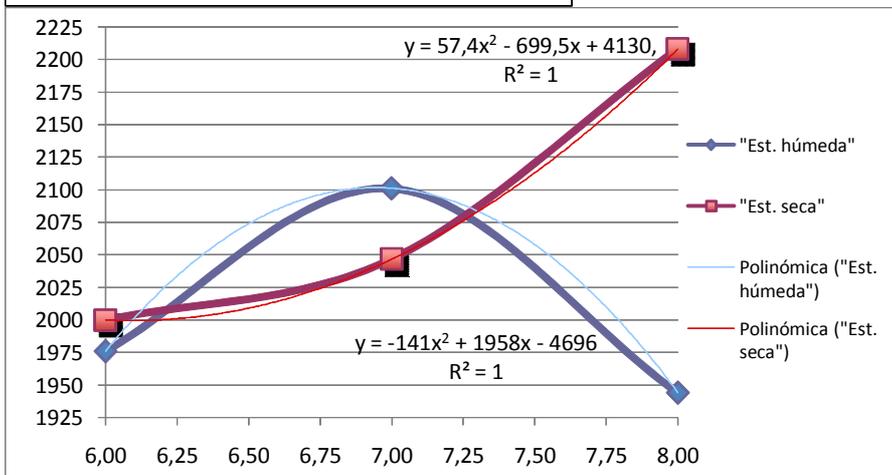
### Diseño de mezcla óptima - Marshall

% emul	VMA	Vacios	PE	Est seca	Est hum	fluencia
6,00	19,70	4,98	1,90	2000	1976	9,00
7,00	19,66	3,08	1,92	2047	2101	9,70
8,00	20,20	2,40	1,91	2208	1944	10,70



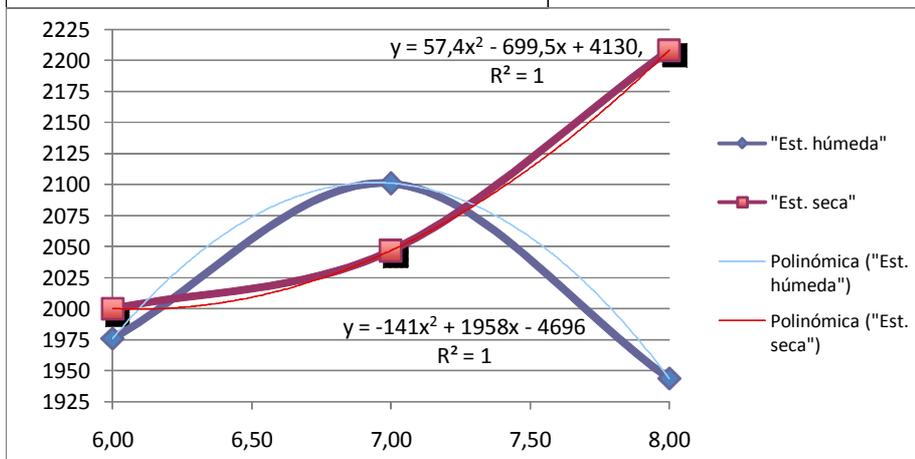
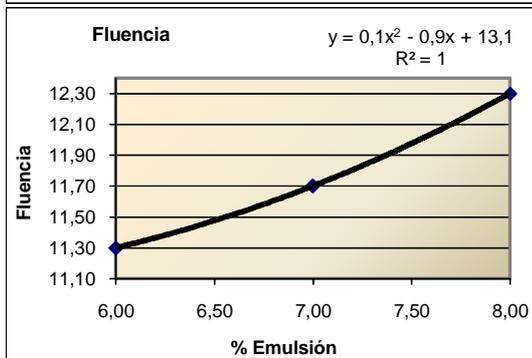
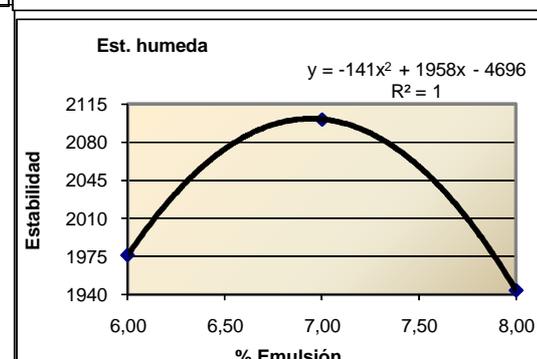
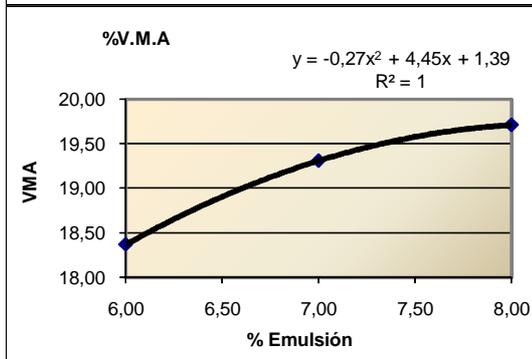
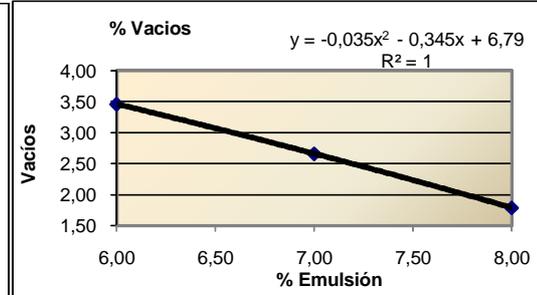
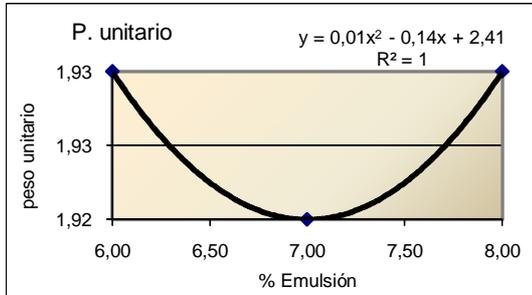
#### Optimo de Emulsión

%Emul	% vacios
6,44	4,00





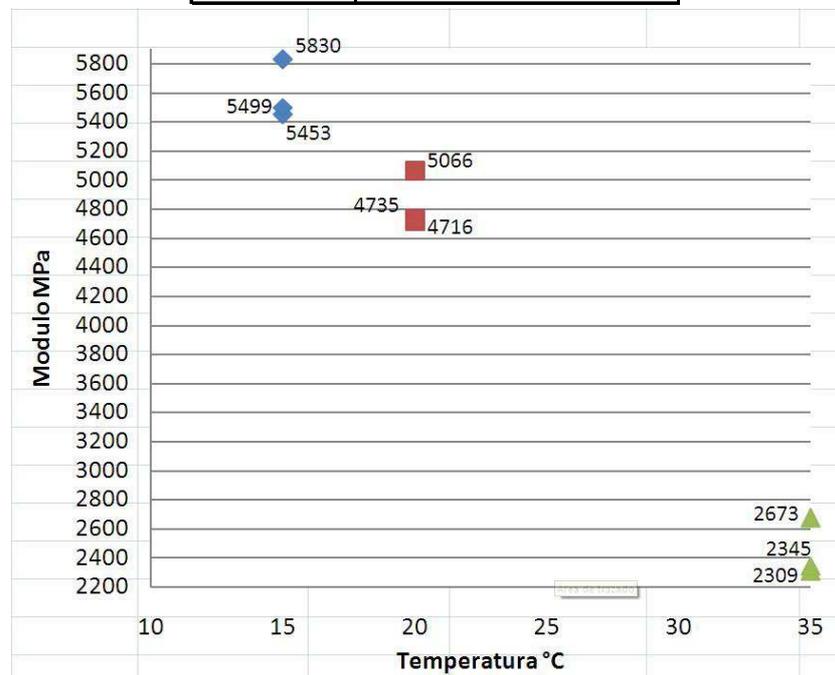
% emul	VMA	Vacios	PE	Est. seca	Est. hum	fluencia
6,00	18,37	3,46	1,93	2000	1976	11,30
7,00	19,31	2,66	1,92	2047	2101	11,70
8,00	19,71	1,79	1,93	2208	1944	12,30





**MODULOS DINAMICOS**  
**Agregado reciclado y % Emulsión óptimo**

Temperatura	% Emul	Módulo (Mpa)
15		5453
15	6,5	5830
15		5499
Prom		<b>5594</b>
20		4716
20	6,5	5066
20		4735
Prom		<b>4839</b>
35		2309
35	6,5	2673
35		2345
Prom		<b>2442</b>



**Esfuerzo a Tracción Indirecta**

Temp 10°C  
N° Golpes 50

**Reciclado y Emulsión optima 6,5% (B)**

Briqueta	φ (cm)	esp (cm)	carga (kg)	Esf. (kg/cm2)
R19	10,2	6,1	553	5,7
R20	10,2	6,0	588	6,1
R21	10,2	5,7	618	6,8
R22	10,2	5,9	569	6,0
R23	10,2	6,2	659	6,6
R24	10,2	6,6	556	5,3
				<b>6,1</b>



### 8.3 Diseño de Mezcla óptima con Diluido SC-250

EXTRACCION DE ASFALTO	
MUESTRA <u>Reciclado carpeta</u>	FECHA _____
W1 = PESO ANTES DE LA EXTRACCION	W1 = <u>1000</u> grs
Peso Filtro 1 _____	
Peso Filtro 2 _____	
Peso Filtro 3 _____	
Σ1 _____	<u>8,6</u>
W2 = PESO ANTES DE LA EXTRACCION	W2 = <u>967,0</u>
Peso filtro 1 _____	
Peso filtro 2 _____	
Peso filtro 3 _____	
Σ2 _____	<u>9,4</u>
W3 = W2 - W1	W3 = <u>0,8</u>
W4 = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (CC)	
	W4 = 1400*0,001= <u>1,4</u>
% ASFALTO = ((W1 - (W2+W3+W4))/W1)*100	
% ASFALTO = <u>3,08</u>	

#### ANALISIS GRANULOMETRICO DEL RECICLADO

TAMIZ	P. RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3/4"			
1/2"			100
3/8"	60	6	94
Nº4	262	27	73
Nº8	446	46	54
Nº10	550	57	43
Nº30	620	64	36
Nº50	816	84	16
Nº100	896	93	7
Nº200	940	97	3
TOTAL	27		



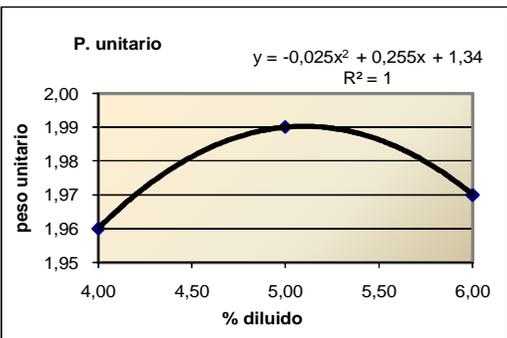
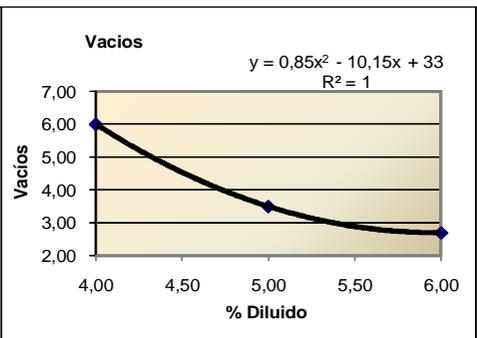
**Diseño para determinar la mezcla óptima - Marshall**

Nº golpes 50

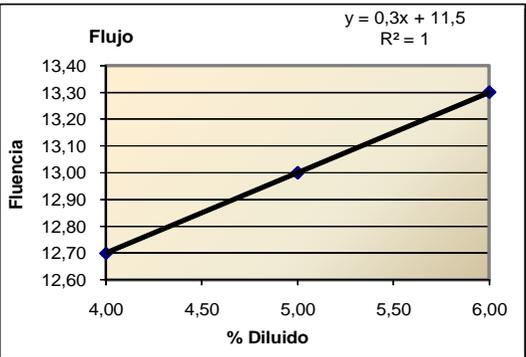
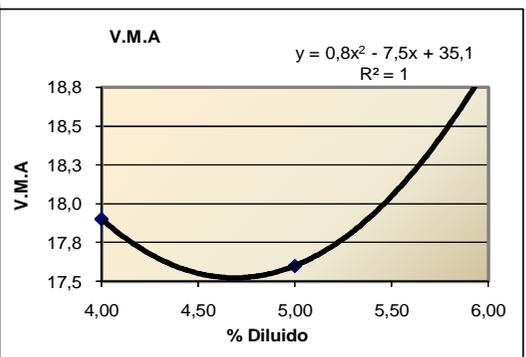
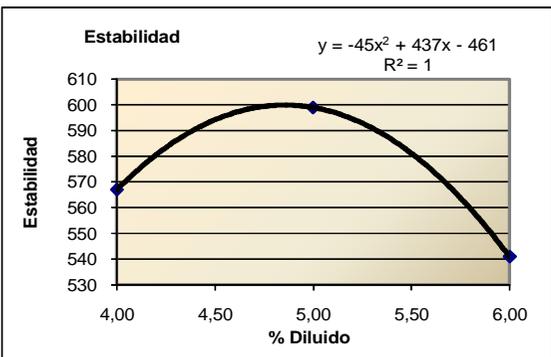
Muestra Nº	% emul por peso de mezcla	Peso Muestra (grs.)			Volumen	Grav. Esp. de masa de muestra	Grav. Esp. Max. De Mezcla	% Vacios	%V.M.A	Dial (kg)	Correc. (kg)	FLUJO	Fact. Correc.
		en aire	en agua	sat. Sup. Seca en aire									
D1	4	1020	499,7	1022	522,3	1,95				600	576	15	0,96
D2	4	1090	533,9	1092	558,1	1,95				688	591,7	12	0,86
D3	4	1103	544	1105	561	1,97				620	533,2	13	0,86
						1,96	2,08	6,0	17,9		567,0	13,3	
D4	5	1185	588,8	1187	598,2	1,98				746	581,9	12	0,78
D5	5	1136	567,5	1138	570,5	1,99				760	653,6	13	0,86
D6	5	1125	560	1127	567	1,98				653	561,6	14	0,86
						1,99	2,06	3,5	17,6		599,0	13,0	
D7	6	1154	576	1161	585	1,97				693	575,2	12	0,83
D8	6	1170	585	1176,5	591,5	1,98				629	522,1	12	0,83
D9	6	1183	590	1190	600	1,97				649	525,7	13	0,81
						1,97	2,03	2,7	18,9		541,0	12,7	



**Diseño de mezcla óptima - Marshall**



% diluido	VMA	Vacios	PE	estabilidad	fluencia
4,00	17,9	6,00	1,96	567	12,70
5,00	17,6	3,50	1,99	599	13,00
6,00	18,9	2,70	1,97	541	13,30



**% Optimo**

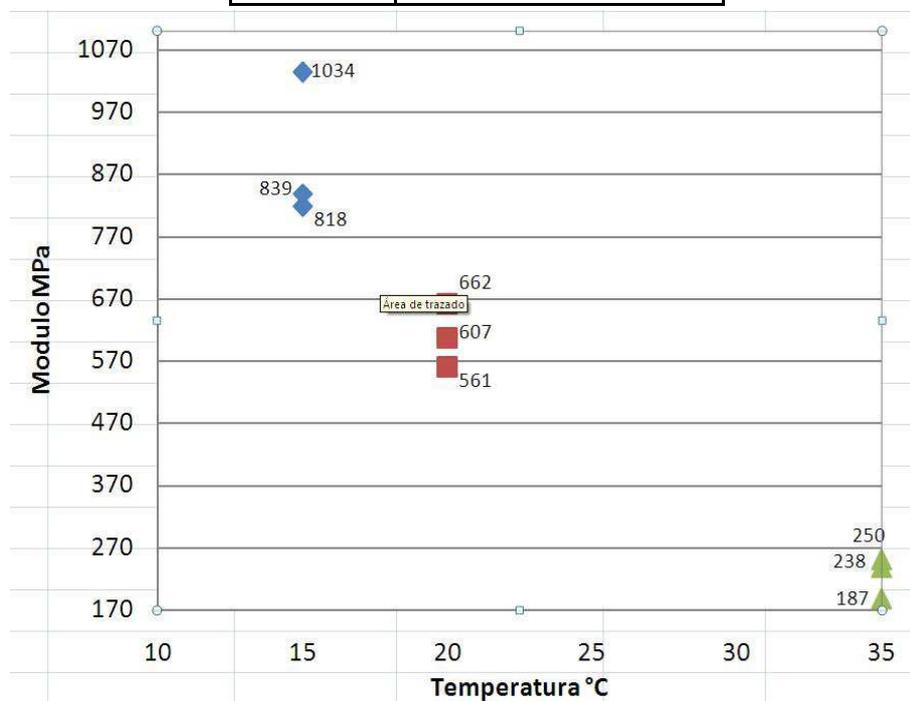
% diluido	% Vacios
4,7	4,0



**MODULOS DINAMICOS**

**Diluido SC-250**

Temperatura	% Emul	Módulo (Mpa)
15		1034
15	4,75	818
15		839
Prom		<b>897</b>
20		662
20	4,75	561
20		607
Prom		<b>610</b>
35		187
35	4,75	238
35		250
Prom		<b>225</b>



**Esfuerzo a Tracción Indirecta**

Temp 10°C  
N° Golpes 50

**Diluido 4,75% (B)**

Briqueta	φ (cm)	esp (cm)	carga (kg)	Esf. (kg/cm <sup>2</sup> )
D10	10,2	6,6	282	2,7
D11	10,2	6,5	194	1,9
D12	10,2	6,4	255	2,5
D13	10,2	6,3	222	2,2
D14	10,2	6,4	205	2,0
D15	10,2	6,9	220	2,0
				<b>2,2</b>



## **8.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS**

Se realizaron los ensayos correspondientes para obtener los valores, que nos permitan establecer parámetros de similitud entre las mezclas asfálticas calientes y las mezclas frías, este parámetro es el Módulo de rigidez o Módulo Dinámico.

Para este trabajo se realizaron tres diferentes combinaciones de mezclas frías y tratamos de que todas tengan las mismas condiciones de elaboración, compactación a igual número de golpes, temperaturas de ensayos iguales, etc. en todos sus aspectos, para que así podamos obtener resultados que no difieran mucho en su interpretación.

### **8.4.1 Emulsión 9,6% y agregados vírgenes**

Se desarrollaron todos los ensayos debidos, las granulometrías de agregados, los ensayos de recubrimiento y adherencia, porcentajes tentativos de humedad y de emulsión, elaboración de briquetas, compactación de las mismas, curados en horno, al aire y en agua, ensayo Marshall para determinar estabilidad, vacíos, flujo, etc.

De esta manera se obtuvo un % óptimo de emulsión para la primera combinación. Ya con este valor, procedimos a determinar los valores del módulo de rigidez con el equipo N.A.T de la Universidad Católica, sometiendo los testigos a diferentes temperaturas de prueba, 15 – 20 – 35°C para así poder asumir los intervalos de calentura en que se encuentran sometidas nuestras vías y con cuales se comporta de una mejor manera.

Las briquetas se compactaron a 50 golpes como dice la norma Marshall para mezclas frías y el módulo que se obtuvo a deformación constante fue de 4191 MPa con  $T = 20^{\circ}\text{C}$ .

Mediante el ensayo de tracción indirecta a  $10^{\circ}\text{C}$ , obtuvimos la resistencia de la mezcla con valor de 6.4 kg/cm<sup>2</sup>, que es un resultado aceptable, ya que una mezcla caliente e  $10^{\circ}\text{C}$  produce valores de 12 a 13 kg/cm<sup>2</sup>.

Bajo los criterios Marshall de estabilidad y flujo, para esta mezcla obtenemos valores aceptables.

### **8.4.2 Emulsión 6.5% y agregado reciclado**

Para este parte se siguieron los mismos pasos que la combinación anterior, como dice el manual de Emulsiones asfálticas del instituto de asfalto. A diferencia que se tuvo que una extracción al material reciclado para determinar el contenido de asfalto existente y calcular el % de



emulsión óptimo, tomando en cuenta que este material ya ha sido utilizado.

Con los mismos parámetros de elaboración, compactación a 50 golpes y temperatura a 20°C, tenemos un módulo a deformación constante de 4839 MPa.

Así mismo por el ensayo de tracción indirecta a 10°C tenemos la resistencia de mezcla de 6.1 Kg/cm<sup>2</sup>, resultado aceptable.

Bajo los criterios Marshall de estabilidad y flujo, la mezcla es aceptable

### **8.4.3 Diluido SC-250 y agregado premezclado.**

El premezclado resultado de la combinación del AP3 y los agregados vírgenes, con los mismos criterios de una mezcla en caliente, a diferencia que esto cuando ya se mezcla, se la deposita en un lugar seco, para almacenarlo; esto es una forma de trabajo que la realiza la empresa Concretos y Prefabricados.

Al igual que las anteriores, con los mismos parámetros, compactación 50 golpes y temperatura a 20°C, obtenemos el módulo a deformación constante de 610 MPa.

Con el ensayo de tracción indirecta tenemos la resistencia de mezcla que es de 2.2 kg/cm<sup>2</sup>.

Estos resultados tan bajos, en relación con los de la mezcla caliente, a pesar de que la mezcla tiene valores Marshall aceptables para este tipo de mezcla, nos indican que el uso como capa de rodadura no sería recomendable, a pesar que como mezcla de bacheo tendrá una mejoría posterior con el proceso de curado, y un funcionamiento estructural adecuado por el efecto de confinamiento de la mezcla que se da en un bache que se lo tapa.

Hay diversas maneras de evaluar las mezclas asfálticas, en este caso las calientes. Nosotros elaboramos las mezclas frías para poder obtener parámetros que nos sirvan para la comparación. También hay que tener en cuenta y es muy importante, saber cuál va a ser el uso de la mezcla que se realizó en el laboratorio.

- En el Trabajo de grado elaborado por Ma. José Tamayo y Eduardo Veloz en el año 2007, sobre *“Variaciones en la respuesta mecánica y dinámica de las mezclas asfálticas calientes que se utilizan en guayaquil al variar los diversos parámetros del diseño Marshall”*, al analizar y comparar las granulometrías observamos que son parecidas y los agregados utilizados para el diseño, tenemos que son los mismos ya que fueron obtenidos de



la cantera de Concretos y Prefabricados, entonces en el trabajo de los señores mencionados anteriormente es comparable con el nuestro.

Comparando los resultados consideramos como satisfactorio el comportamiento de nuestra mezcla; la primera combinación con un contenido de Emulsión de 9.6% y agregado virgen, la segunda con Emulsión 6.5% y agregado reciclado; para el módulo dinámico, que a su vez son valores parecidos y ambos están por encima de los módulos que exige la norma Británica de mayor a 2500MPa y la norma Europea de mayor a 3000MPa.

En nuestra siguiente combinación de mezcla, Diluido SC-250 en un 4.75% y agregado premezclado, el módulo dinámico cae por debajo de los valores que indican las normas, no teniendo un buen comportamiento como carpeta de rodadura, pero si funcionaría mejor de un forma confinada, esto es, para realizar trabajos de bacheo de calles, ya que por su confinamiento y compactación constante resultaría efectivo.

Entonces considero que se debería trabajar con otro tipo de Diluido, de más alto rango, si se lo va a colocar como carpeta asfáltica, ya que este sufre a la acción de la temperatura, cuando esta se eleva.

		<b>COMPARACION MODULOS DINAMICOS</b>				
Temp	20°C					
# de golpes	50					
		Trabajo Sr. Armijo			Trabajo Srta. Tamayo y Sr. Veloz	
		Emul+Agreg. Virgen	Emul+Reciclado	Diluido+Premezclado	Mezcla Caliente convencional	
% Emulsión		9,6	6,5	4,75		
% Asfalto res		5,7	5,8		6,5	7,1
<b>Módulos (Mpa)</b>		<b>4191</b>	<b>4839</b>	<b>610</b>	<b>6786</b>	<b>3471</b>
					<b>5568</b>	

- En el Trabajo de grado elaborado por Jorge Suárez Calderón en el año 2007, sobre *“Efectos de las diferentes formas de compactación (prensa y vibración) en los valores registrados para el módulo dinámico de las mezclas asfálticas calientes como elemento para identificar la calidad de las mezclas asfálticas tendidas en sitio”*, el realizó dos granulometrías, una gruesa y otra fina, al analizar y comparar estas granulometrías realizadas para el diseño de mezcla tenemos que las tres no difieren significativamente, pero los agregados utilizados para el diseño no son los mismos ya que fueron obtenidos de la cantera de Constructora Verdu, entonces en el trabajo del señor en mención es comparable con el nuestro y mejor ya que él utiliza agregados de una cantera diferente.

Comparando los resultados consideramos como satisfactorio el comportamiento de nuestra mezcla; la primera combinación con un contenido de Emulsión de 9.6% y agregado virgen, la segunda con Emulsión 6.5% y agregado reciclado; para el módulo dinámico, que a su vez son valores parecidos y ambos están por encima de los módulos que



exige la norma Británica de mayor a 2500MPa y la norma Europea de mayor a 3000MPa.

		COMPARACION MODULOS DINAMICOS			
Temp	20°C				
# de golpes	50				
		Trabajo Sr. Armijo			Trabajo Sr. Suarez
		Emul+Agreg. Virgen	Emul+Reciclado	Diluido+Premezclado	Mezcla Caliente convencional
% Emulsión		9,6	6,5	4,75	
% Asfalto res		5,7	5,8		6,6
<b>Módulos (Mpa)</b>		<b>4191</b>	<b>4839</b>	<b>610</b>	<b>4303</b>

- En el Trabajo de grado elaborado por la señorita Carolina Salcedo F. en el año 2007, sobre *“Utilización del módulo de resiliencia dinámico como elemento para identificar la calidad de mezclas asfálticas calientes tendidas en sitio”*, ella realizó las granulometrías y estas no difieren sustancialmente con la nuestra, al comparar los agregados utilizados para el diseño, de estos, dos no son los mismos ya que fueron obtenidos muestras de diferentes canteras, Vía a la costa y la otra de la Vía a Daule; entonces en el trabajo del señorita es comparable con el nuestro y mejor ya que él utiliza agregados de otras canteras y de la nuestra.

Comparando los resultados consideramos como satisfactorio el comportamiento de nuestra mezcla; la primera combinación con un contenido de Emulsión de 9.6% y agregado virgen, la segunda con Emulsión 6.5% y agregado reciclado; para el módulo dinámico, que a su vez son valores parecidos y ambos están por encima de los módulos que exige la norma Británica de mayor a 2500MPa y la norma Europea de mayor a 3000MPa.

		COMPARACION MODULOS DINAMICOS				
Temp	20°C					
# de golpes	50					
		Trabajo Sr. Armijo			Trabajo Srta. Salcedo	
		Emul+Agreg. Virgen	Emul+Reciclado	Diluido+Premezclado	Mezcla Caliente convencional	
% Emulsión		9,6	6,5	4,75		
% Asfalto res		5,7	5,8		5,3	6,8
<b>Módulos (Mpa)</b>		<b>4191</b>	<b>4839</b>	<b>610</b>	<b>4425</b>	<b>2609</b>

- En el Trabajo de grado elaborado por Lidza Samaniego A. en el año 2009, sobre *“Diseño de mezclas asfálticas por medio del método Marshall y las variaciones en su comportamiento ante la repetición de cargas (fatiga)”*, al analizar y comparar las granulometrías observamos que son parecidas y los agregados utilizados para el diseño, tenemos que son los mismos ya que fueron obtenidos de la cantera Progeconsa, que obtiene



su material del mismo cerro que la obtiene Concretos y Prefabricados, entonces el trabajo de la señorita es comparable con el nuestro.

Comparando los resultados consideramos como satisfactorio el comportamiento de nuestra mezcla; la primera combinación con un contenido de Emulsión de 9.6% y agregado virgen, la segunda con Emulsión 6.5% y agregado reciclado; para el módulo dinámico, que a su vez son valores parecidos y ambos están por encima de los módulos que exige la norma Británica de mayor a 2500MPa y la norma Europea de mayor a 3000MPa.

<b>COMPARACION MODULOS DINAMICOS</b>						
Temp	20°C					
# de golpes	50 y 45					
	<b>Trabajo Sr. Armijo</b>			<b>Trabajo Srta. Samaniego</b>		
	<b>Emul+Agreg. Virgen</b>	<b>Emul+Reciclado</b>	<b>Diluido+Premezclado</b>	<b>Mezcla Caliente convencional</b>		
% Emulsión	9,6	6,5	4,75			
% Asfalto res	5,7	5,8		6,1	6,6	7,1
<b>Módulos (Mpa)</b>	<b>4191</b>	<b>4839</b>	<b>610</b>	<b>4679</b>	<b>4169</b>	<b>4387</b>



# CAPITULO 9

## CONCLUSIONES



## 9.1 CONCLUSIONES

- Las mezclas frías elaboradas con emulsión asfáltica bajo los criterios del método Marshall, con diferentes porcentajes de emulsión, con porcentaje de asfalto residual variado, según la combinación de las muestras y con diferentes agregados, llegan a resultados similares, módulos dinámicos con valores similares a los de las mezclas en caliente, una vez que ha expulsado el agua o se han “curado” adecuadamente. Entonces encontramos una comparación válida y aceptable y podemos decir que es muy viable el trabajo con emulsión en la construcción o reconstrucción de nuestro eje vial.
- Las emulsiones asfálticas son más trabajables, se elabora la mezcla a temperatura ambiente, vamos a lugares sin la necesidad de trasladar todo el sistema de calefacción que se necesita para elaborar una mezcla asfáltica en caliente.
- En relación al reciclado de vías, resulta más beneficioso ya que reutilizamos los componentes de las mezclas en más de un 50%, no necesitamos comprar y transportar material o agregados nuevos, la cantidad de emulsión aplicada al agregado reciclado es mucho menor que la cantidad de asfalto.
- Y una última conclusión, quizá la más importante, La protección al medioambiente, disminuye sustancialmente la contaminación atmosférica y el consumo de combustibles fósiles y recursos no renovables.



## 9.2 RECOMENDACIONES

- El utilizar los criterios del diseño Marshall en la elaboración de nuestro proyecto, concluimos que son aplicables los parámetros de mezclas calientes a nuestras mezclas frías. Por los resultados obtenidos y comparados con los de los trabajos anteriores.
- Siempre que se trabaje con Emulsiones asfálticas se debe tener en cuenta la cantidad de asfalto que esta contiene, ya que es parte principal para el diseño de mezcla óptima. Y también se debe utilizar la misma emulsión para la preparación de todos los especímenes, por cuando se elaboran emulsiones en diferentes días, ninguna tiene un contenido igual de agua o de asfalto.
- De igual manera debemos tomar la cantidad necesaria de agregados para la elaboración de los mezclas, ya que mientras más homogénea y parecida sea la muestra, estas no van a variar significativamente en el comportamiento de los ensayos.
- El trabajo con el Diluido en la mezcla se debe cambiar por otro de mayor rango si se lo va a trabajar como carpeta de rodadura y otras funciones
- Presentar y dar a conocer a los constructores o entidades privadas y gubernamentales principalmente, que la utilización de la emulsión asfáltica está creciendo significativamente en países de Europa y que su uso es igual o mejor que del asfalto, o a su vez trabajar en una forma combinada con ambos.
- Incentivar al desarrollo de diseños con emulsión, ya sea para carpetas de rodadura o bases estabilizadas con agregados nuevos o agregados reciclados, porque es de mejor manejo, menos contaminante y de menor costo a la economía.



# ANEXOS

### A-1 Preparación de briquetas



Se pesan los agregados



Proceso de mezclado



Mezclado por unos 5 min.



Se vierte la mezcla en el molde



Se golpea con la espátula



Compactación 50 golpes martillo

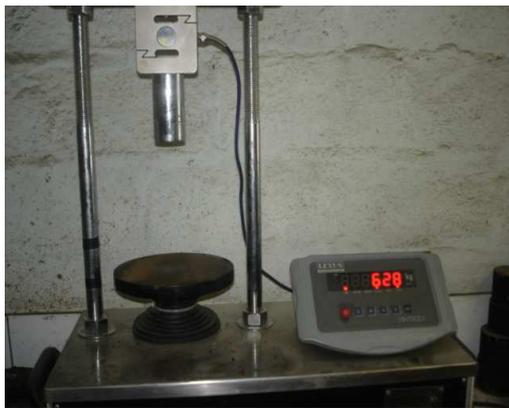
## A-2 Preparación de briquetas y Ensayo Marshall



Se voltea la muestra y 50 golpes



Sacamos del molde la briqueta y listo



Máquina para el ensayo Marshall



Ensayo de las briquetas



Briquetas ensayadas por método Marshall

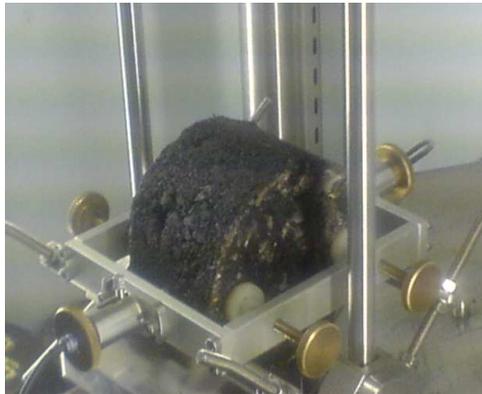
### A-3 Pasos para el ensayo ITSM (N.A.T)



Medición del diámetro



Medición del espesor



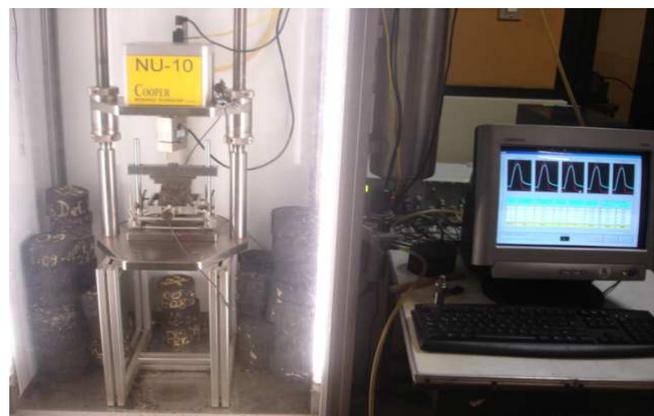
Colocarla en la línea de alineación



Ponerla en el subportico de ensayo



Briqueta lista para el ensayo



Ensayo en proceso

### A-4 Ensayo de Tracción Indirecta



Colocación en el cabezal Lottman



Briqueta lista para ensayar



Ensayo de tracción en proceso



Resultado del ensayo



Briqueta ensayada



## A-5 Software ITSM

### Pasos para la medición de módulos dinámicos

The Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) test is a non-destructive method of measuring the stiffness modulus of asphaltic paving materials at a selected horizontal deformation. The test is normally carried out on 100mm or 150mm diameter moulded specimens or cores cut from the pavement. Although moulded specimens are used it should be noted that their mechanical properties may not be the same as those of nominally identical materials cut from the pavement. Specimens should ideally be 60mm to 70mm thick but thicknesses from 30mm to 80mm can be used.

Ensure that specimens and loading strips are free from surface dirt. Write the specimen identification on the specimen using wax crayon or another suitable marker. Measure and note specimen diameters and thicknesses to the nearest millimetre and mark two diameters perpendicular to each other on one flat side of each specimen. Refer to the relevant standard procedure for information about the correct method of determining specimen dimensions.

Before testing it is important to ensure that the material is at the correct temperature. Some adjustment is permitted if the test temperature is within 2 deg.C. of the target but it is necessary to know what the temperature is as a difference of 1 deg.C. can cause a 10% difference in measured stiffness modulus.

With the cam lever down and the crossbars up place the sample centrally on the lower loading strip.

WARNING

Do not put the test subframe directly under the load actuator until instructed.

Aceptar

Ensure that the LVDT yoke is positioned so that the specimen is central. Tighten the clamps

10:12: :29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

The Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) test is a non-destructive method of measuring the stiffness modulus of asphaltic paving materials at a selected horizontal deformation. The test is normally carried out on 100mm or 150mm diameter moulded specimens or cores cut from the pavement. Although moulded specimens are used it should be noted that their mechanical properties may not be the same as those of nominally identical materials cut from the pavement. Specimens should ideally be 60mm to 70mm thick but thicknesses from 30mm to 80mm can be used.

Ensure that specimens and loading strips are free from surface dirt. Write the specimen identification on the specimen using wax crayon or another suitable marker. Measure and note specimen diameters and thicknesses to the nearest millimetre and mark two diameters perpendicular to each other on one flat side of each specimen. Refer to the relevant standard procedure for information about the correct method of determining specimen dimensions.

Before testing it is important to ensure that the material is at the correct temperature. Some adjustment is permitted if the test temperature is within 2 deg.C. of the target but it is necessary to know what the temperature is as a difference of 1 deg.C. can cause a 10% difference in measured stiffness modulus.

With the cam lever down and the crossbars up place the sample centrally on the lower loading strip.

Adjust the crossbars so they just touch the specimen.

Print out

Do you want to print results?

Si No

Print out and ensure that the LVDT yoke is positioned so that the specimen is central. Tighten the clamps

10:12: :29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



## A-5 Software ITSM

itsm1

The Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) test is a non-destructive method of measuring the stiffness modulus of asphaltic paving materials at a selected horizontal deformation. The test is normally carried out on 100mm or 150mm diameter moulded specimens or cores cut from the pavement. Although moulded specimens are used it should be noted that their mechanical properties may not be the same as those of nominally identical materials cut from the pavement. Specimens should ideally be 60mm to 70mm thick but thicknesses from 30mm to 80mm can be used.

Ensure that specimens and loading strips are free from surface dirt. Write the specimen identification on the specimen using wax crayon or another suitable marker. Measure and note specimen diameters and thicknesses to the nearest millimetre and mark two diameters perpendicular to each other on one flat side of each specimen. Refer to the relevant standard procedure for information about the correct method of determining specimen dimensions.

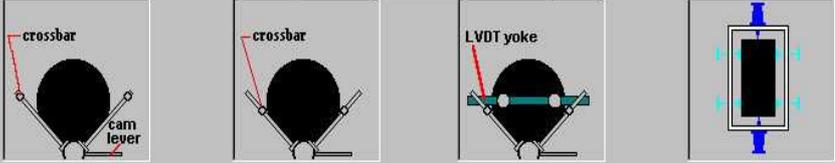
Before testing it is important to ensure that the material is at the correct temperature. Some adjustment is permitted if the test temperature is within 2 deg.C. of the target but it is necessary to know what the temperature is as a difference of 1 deg.C. can cause a 10% difference in measured stiffness modulus.

**Data storage**  
Do you want to store test data to disc?  
Sí No

With the cam lever down and the crossbars up place the sample centrally on the lower loading strip.

Adjust the crossbars so they just touch the specimen crossbar.

Ensure that the LVDT yoke is positioned so that the specimen is central. Tighten the clamps.



10:12:29:10:2008

Cooper Research Technology Limited

Exit Previous Continue

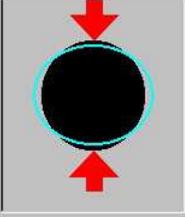
itsm2

Operator:  
Select the test operator name. Add a new name or delete unwanted names from the list.

Operator [dropdown] Add Delete

**Note the specimen dimensions and name or reference number. Ensure that the specimen is in sound condition with no cracks. Remove any loose particles and dust. Check that the correct loading strips are screwed to the IT sub-frame and check that the loading strips are clean.**

**Indirect Tensile Stiffness Modulus**



ITSM

10:15:03:10:2008

Cooper Research Technology Limited

Exit Previous Continue



### A- 5 Software ITSM

itsm3

Data Entry

Target test temperature = 20°C To the nearest degree Celsius

Specimen diameter = 102 mms To the nearest millimetre

Specimen  for asphaltic materials)

P  d. Normally 124 ms

Target risetime =  To the nearest millisecond. Normally 124 ms

Target horizontal deformation = 5 ums To the nearest micron. Normally 5 for 100mm dia and 7 for 150mm dia.

Number of conditioning pulses = 5 Normally 5

Specimen orientation - click button

Test along first diameter

Test along second diameter

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

itsm3

Data Entry

Target test temperature = 20°C To the nearest degree Celsius

Specimen diameter = 103 mms To the nearest millimetre

Specimen thickness = 64 mms To the nearest millimetre

Poisson's ratio = 0.35 To the nearest 0.01 (0.35 for asphaltic materials)

Target risetime = 120 msecs To the nearest millisecond. Normally 124 ms

Target horizontal deformation = 5 ums To the nearest micron. Normally 5 for 100mm dia and 7 for 150mm dia.

Number of conditioning pulses = 5 Normally 5

Specimen orientation - click button

Test along first diameter

Test along second diameter

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



### A-5 Software ITSM

itsm3

Data Entry

Target test temperature = 20°C To the nearest degree Celsius

Specimen diameter = 103 mms To the nearest millimetre

Specimen thickness = 64 mms To the nearest millimetre

Poisson's ratio = 0.35 To the nearest 0.01 (0.35 for asphaltic materials)

WARNING

Remove the LVDT yoke and the top crosshead assembly from the ITSM subframe. Raise the support bars by pulling the cam levers forward. Place the specimen centrally on the lower loading strip and adjust the crossbars so that the specimen rests in position on the lower loading strip with the crossbars lightly holding it in place.

Aceptar

Specimen orientation - click button

Test along first diameter

10:12:29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

itsm3

Data Entry

Target test temperature = 20°C To the nearest degree Celsius

Specimen diameter = 103 mms To the nearest millimetre

Specimen thickness = 64 mms To the nearest millimetre

Poisson's ratio = 0.35 To the nearest 0.01 (0.35 for asphaltic materials)

WARNING

With the LVDT adjusters wound out, place the LVDT yoke over the specimen so that it rests on the crossbars. Ensure that the specimen is centrally located in the LVDT yoke. Clamp the LVDT yoke to the specimen - but do not apply too much force. Place the upper crosshead on the specimen and put the ball seating in place.

Aceptar

Specimen orientation - click button

Test along first diameter

10:12:29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



### A-5 Software ITSM

itsm3

Data Entry

Target test temperature = 20°C To the nearest degree Celsius

Specimen diameter = 103 mms To the nearest millimetre

Specimen thickness = 64 mms To the nearest millimetre

Poisson's ratio = 0.35 To the nearest 0.01 (0.35 for asphaltic materials)

Target rise normally 124 ms

Target horizontal normally 5 mm

Number of conditioning pulses = 5 normally 5

Specimen orientation - click button  
Test along first diameter

WARNING: Push the ITSM subframe into position under the load actuator. Aceptar

10:12:29:10:2008

Cooper Research Technology Limited

Exit Previous Continue

itsm4

Actuator position

Actuator (mm)

By 5mm UP DOWN

By 10mm UP DOWN

9.5 mms

Use the spin button to bring the actuator down until the loading rod is about 5mm to 15mm above the half ball in the top plate. Click on the 'Make contact' button when this has been done.

Make contact

10:12:29:10:2008

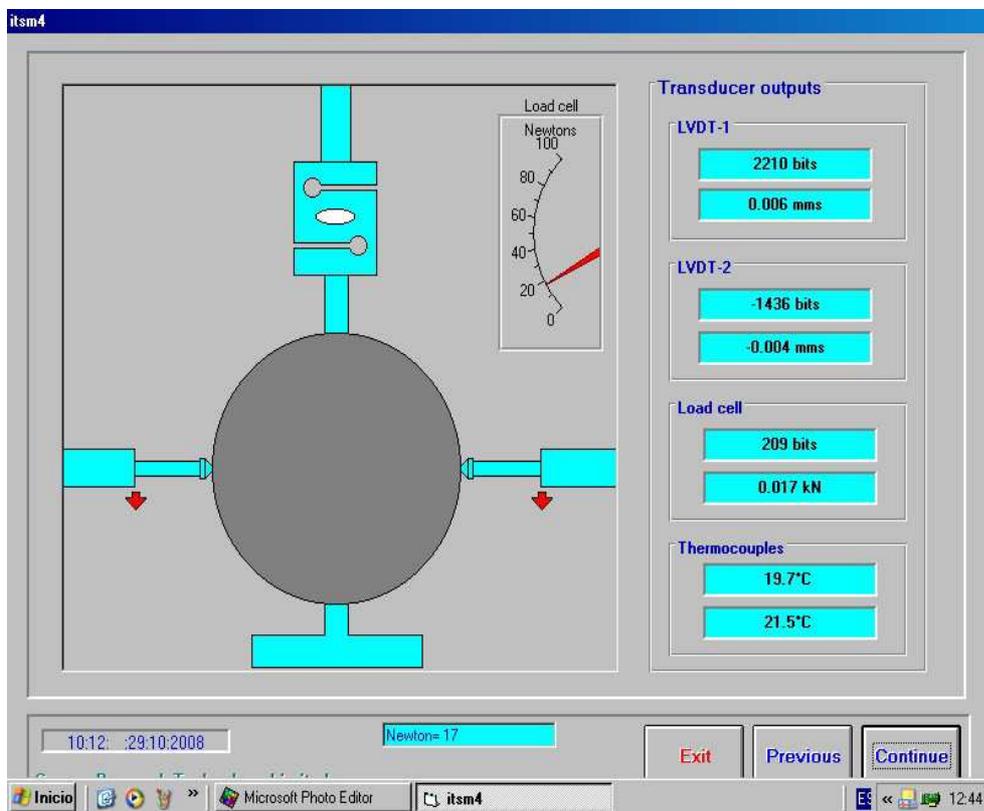
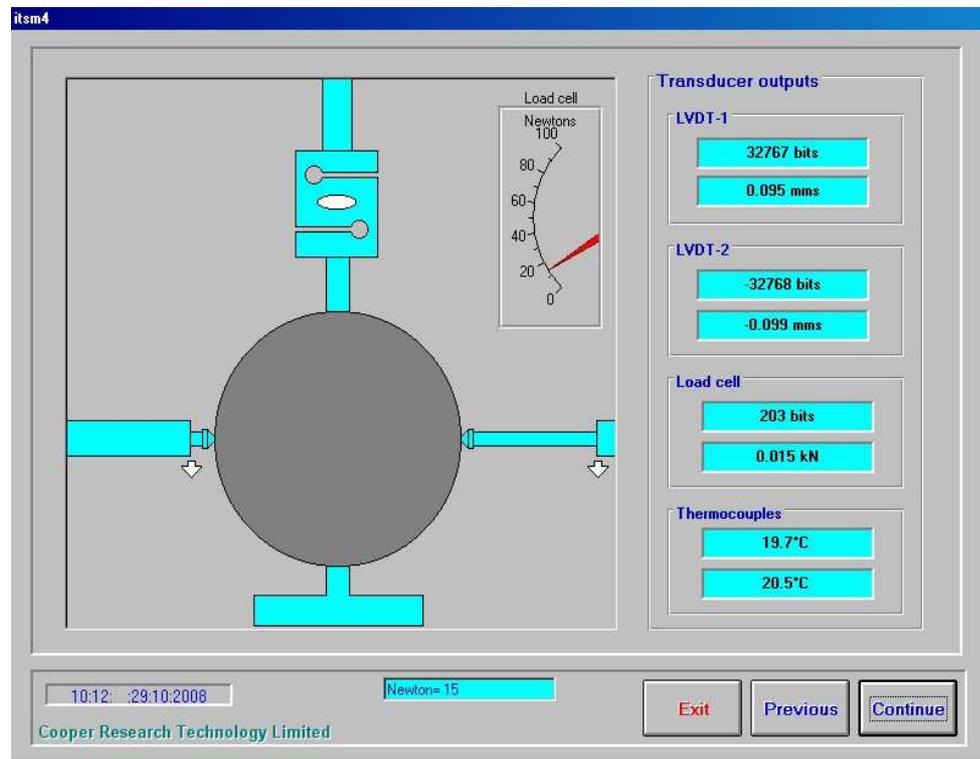
Newton=-57

Cooper Research Technology Limited

Exit Previous Continue

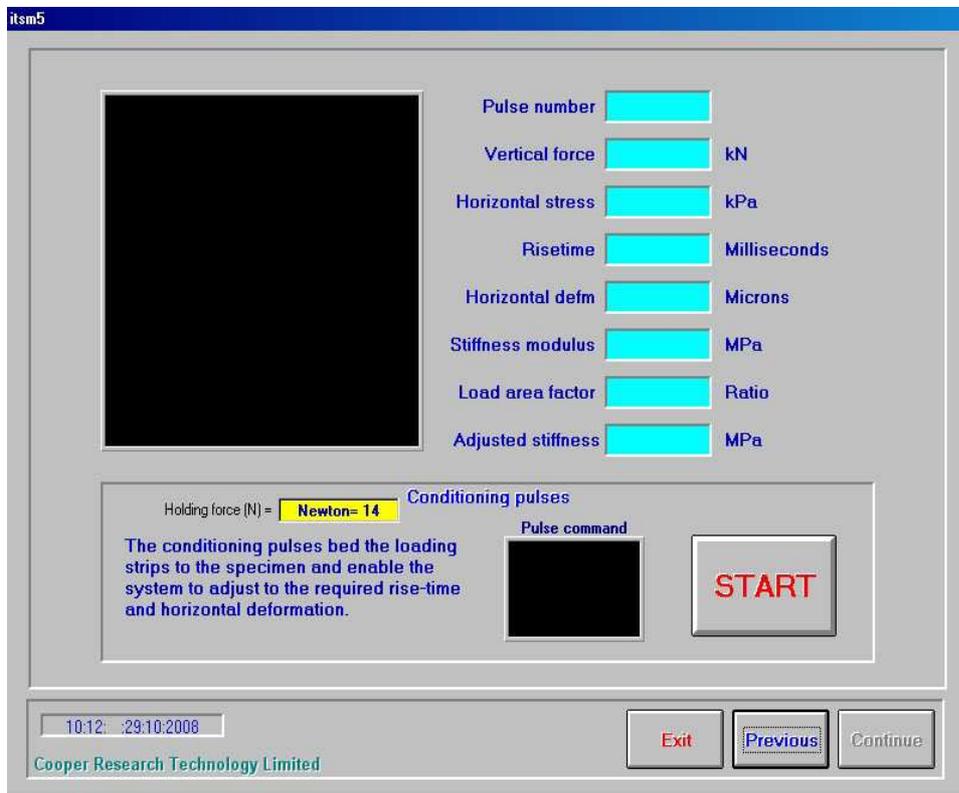
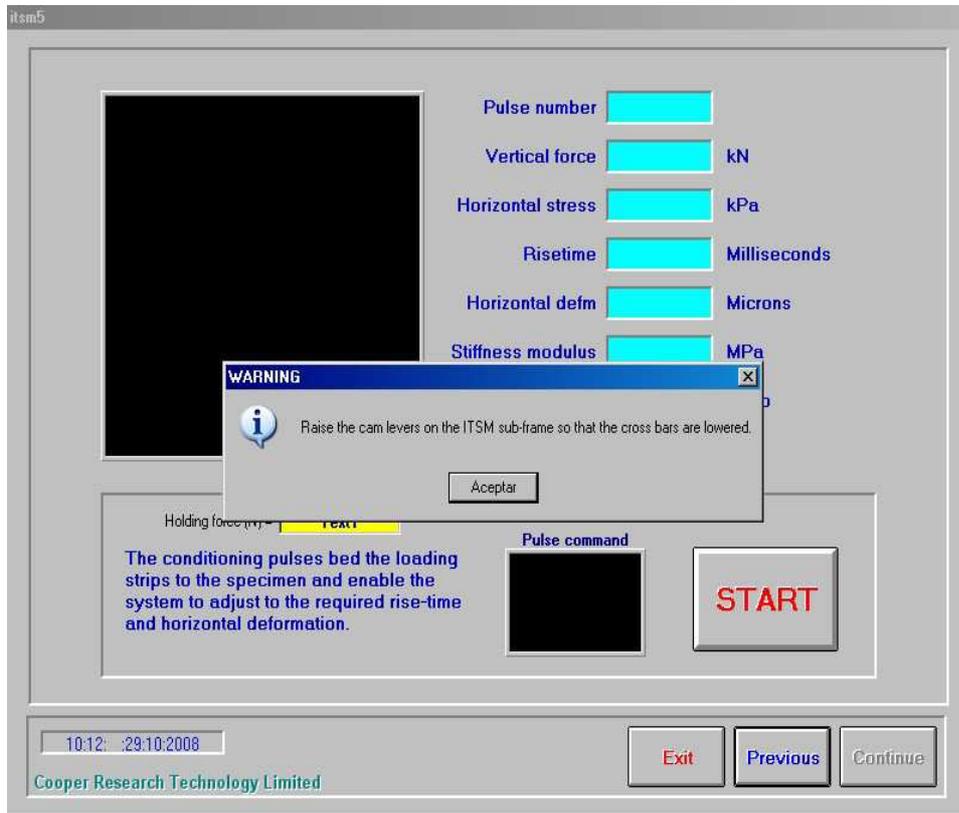


### A-5 Software ITSM





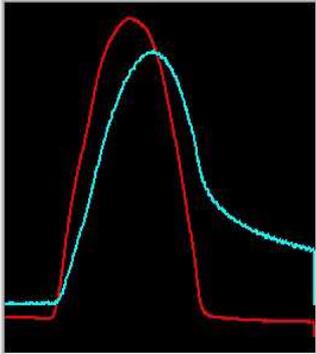
### A-5 Software ITSM





### A-5 Software ITSM

itsm5



Pulse number	1
Vertical force	1.19 kN
Horizontal stress	113.5 kPa
Risetime	124 Milliseconds
Horizontal defm	5.1 Microns
Stiffness modulus	2217 MPa
Load area factor	0.640 Ratio
Adjusted stiffness	2260 MPa

Holding force (N) = **Newton= 19** Conditioning pulses

The conditioning pulses bed the loading strips to the specimen and enable the system to adjust to the required rise-time and horizontal deformation.

Pulse command 

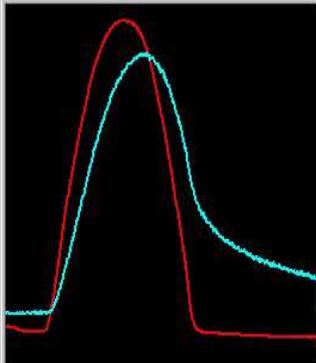
**START**

10:12: :29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

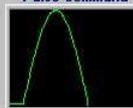
itsm5



Pulse number	5
Vertical force	1.14 kN
Horizontal stress	108.0 kPa
Risetime	119 Milliseconds
Horizontal defm	4.8 Microns
Stiffness modulus	2247 MPa
Load area factor	0.641 Ratio
Adjusted stiffness	2293 MPa

Holding force (N) = **Newton= 24** Conditioning pulses

The conditioning pulses bed the loading strips to the specimen and enable the system to adjust to the required rise-time and horizontal deformation.

Pulse command 

**START**

10:12: :29:10:2008

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



### A-5 Software ITSM

itsm6

Load cell  
Newtons  
100  
80  
60  
40  
20  
0

Transducer outputs

LVDT-1  
2020 bits  
0.006 mms

LVDT-2  
-3581 bits  
-0.011 mms

Load cell  
201 bits  
0.014 kN

Thermocouples  
19.7°C  
20.5°C

10:12 :29:10:2008

Cooper Research Technology Limited

Exit Previous Continue

itsm7

Pulse 1 Pulse 2 se 4 Pulse 5

Thermocouple 1 = 19.7°C  
Thermocouple 2 = 20.5°C  
Actual temperature = 20°C

If the actual specimen temperature is within 2 deg.C of the target test temperature, use the spin button to set the actual temperature.

START TEST

Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Rise time (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1							
2							
3							
4							
5							
Mean							

10:12 :29:10:2008

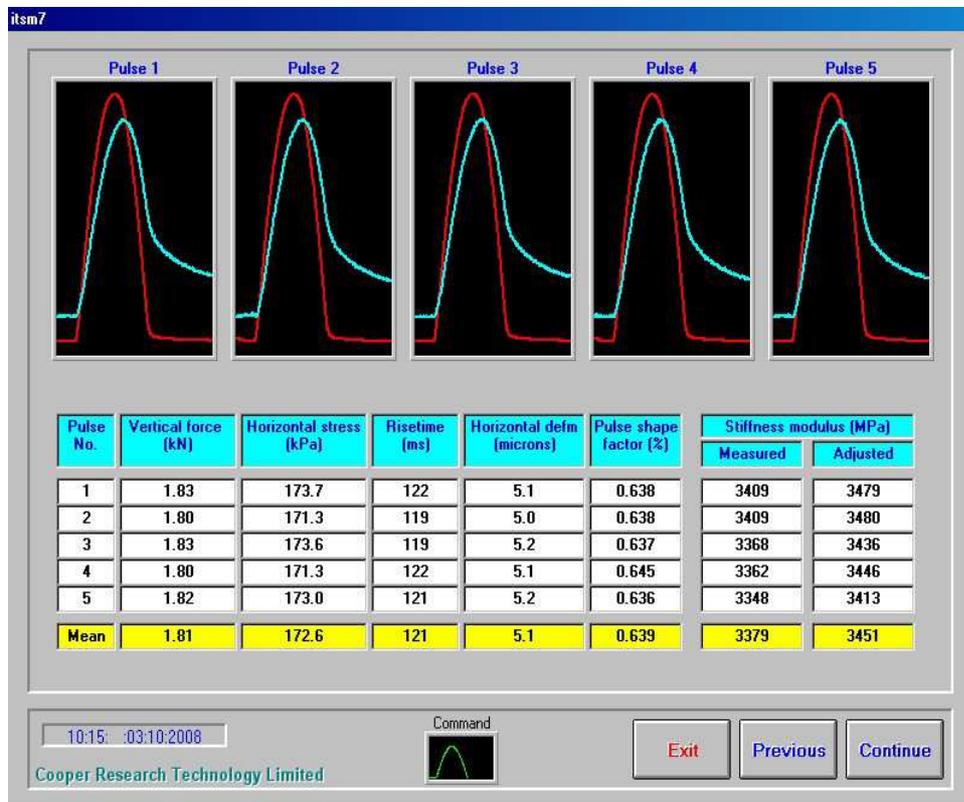
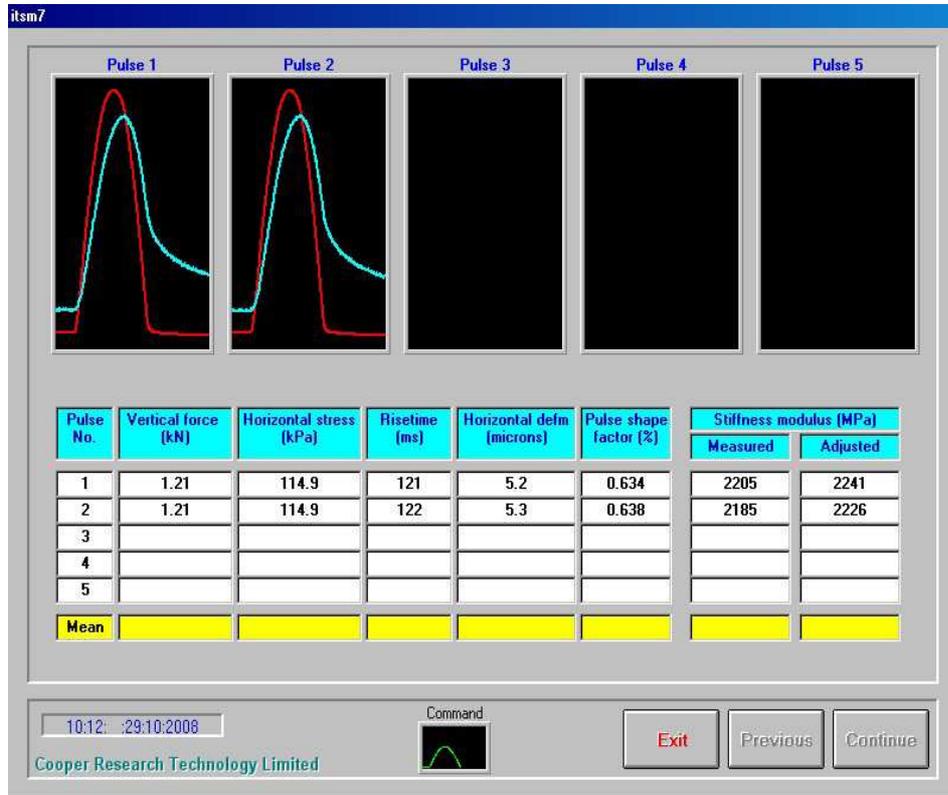
Cooper Research Technology Limited

Command

Exit Previous Continue



### A-5 Software ITSM



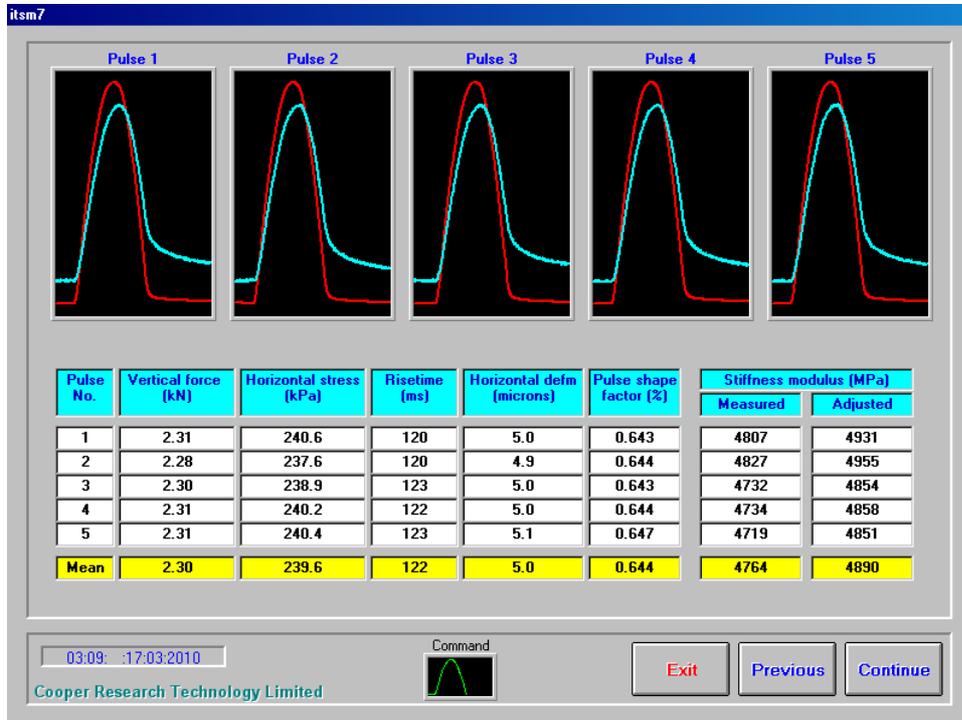


# APENDICES

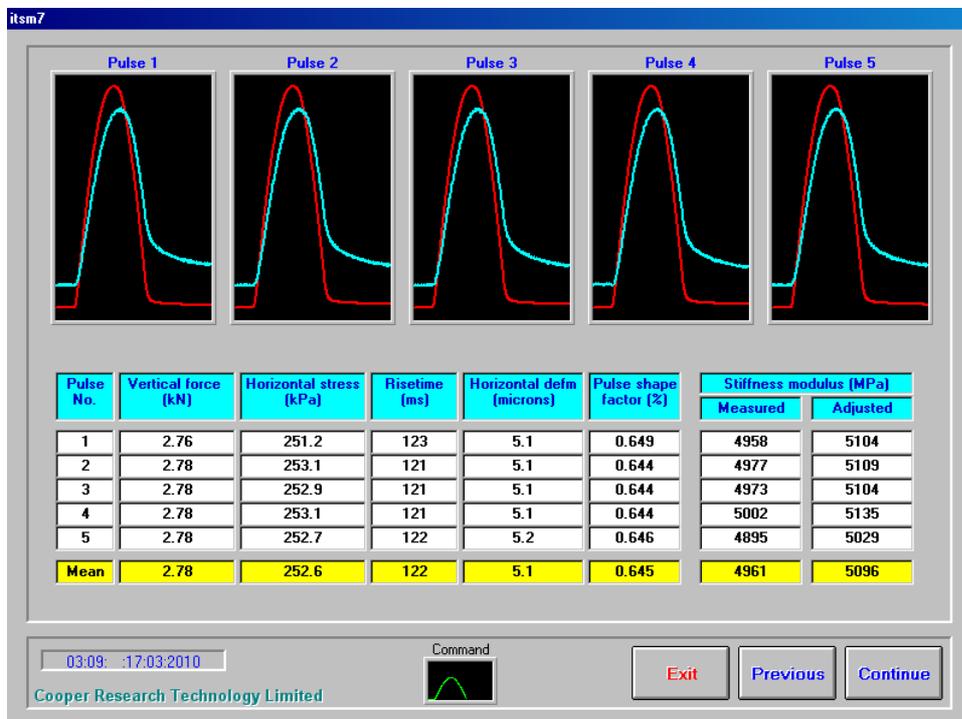


### Resultados del N.A.T

#### P-1 Módulo a Deformación constante



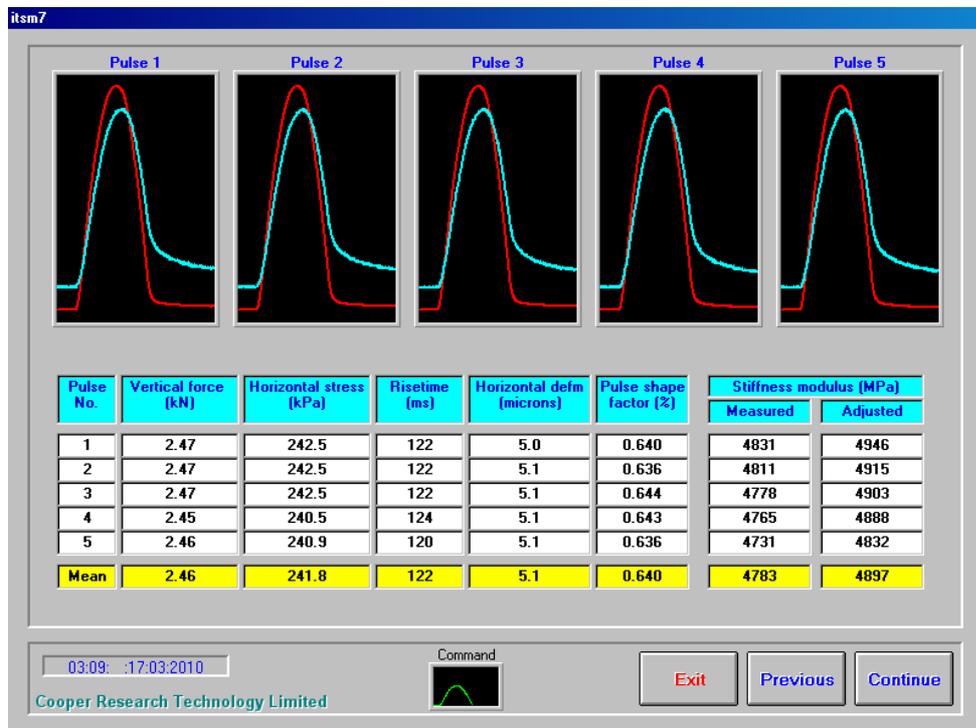
#### Mezcla emulsión y agregado virgen - T 15°C



#### Mezcla emulsión y agregado virgen - T 15°C



### P-2 Módulo a Deformación constante



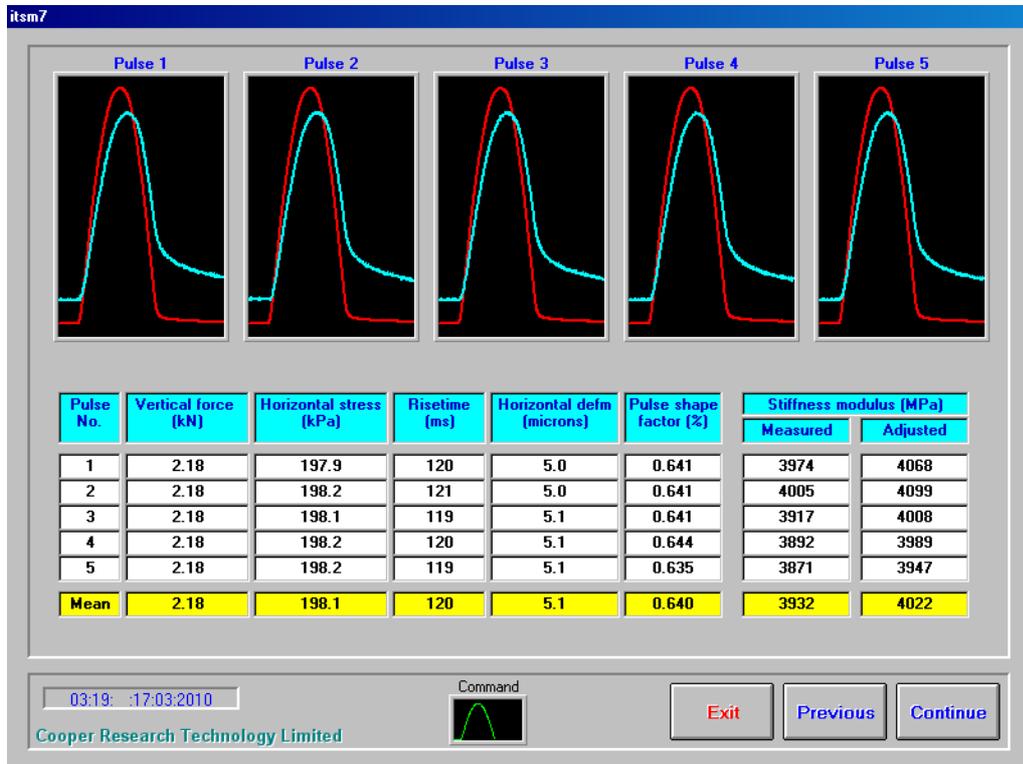
Mezcla emulsión y agregado virgen - T 15°C



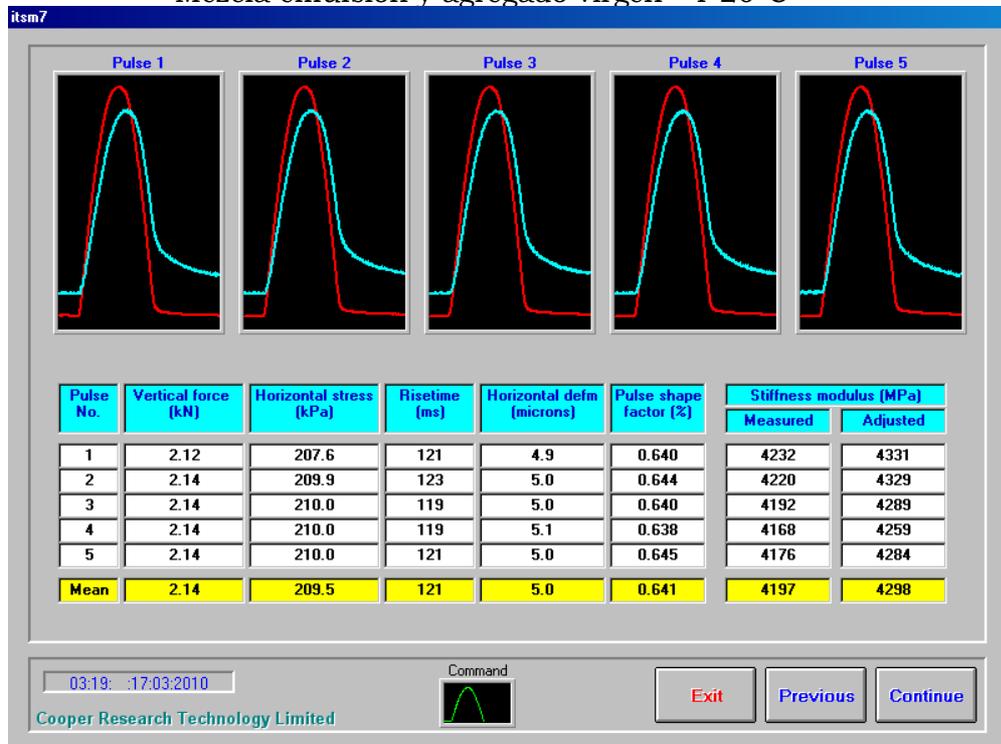
Mezcla emulsión y agregado virgen - T 20°C



### P-3 Módulo a Deformación constante



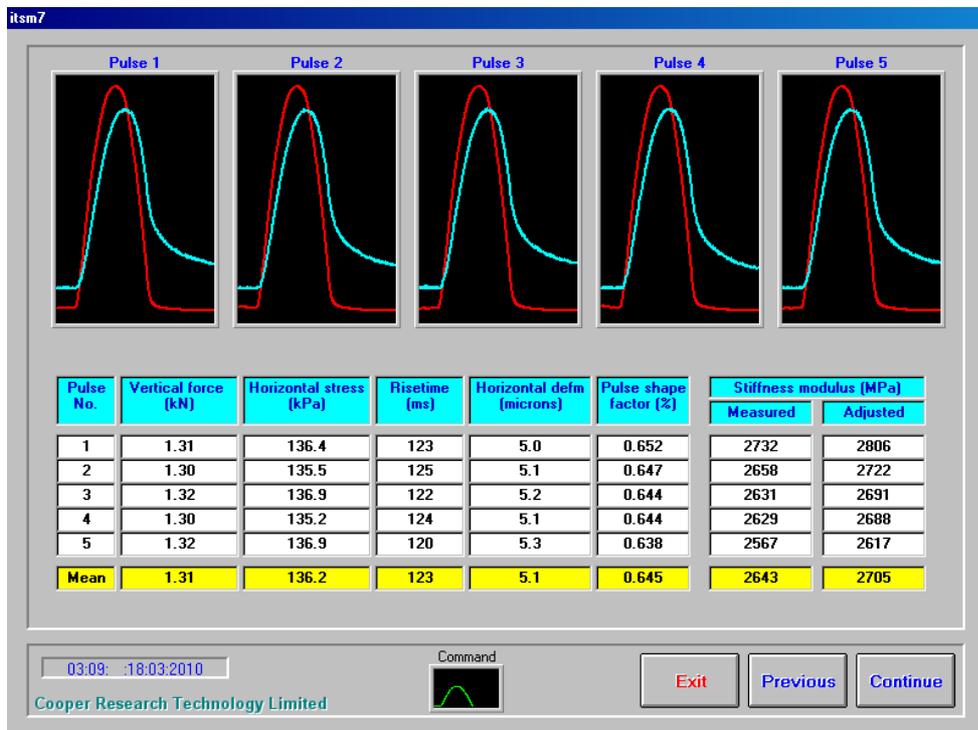
### Mezcla emulsión y agregado virgen - T 20°C



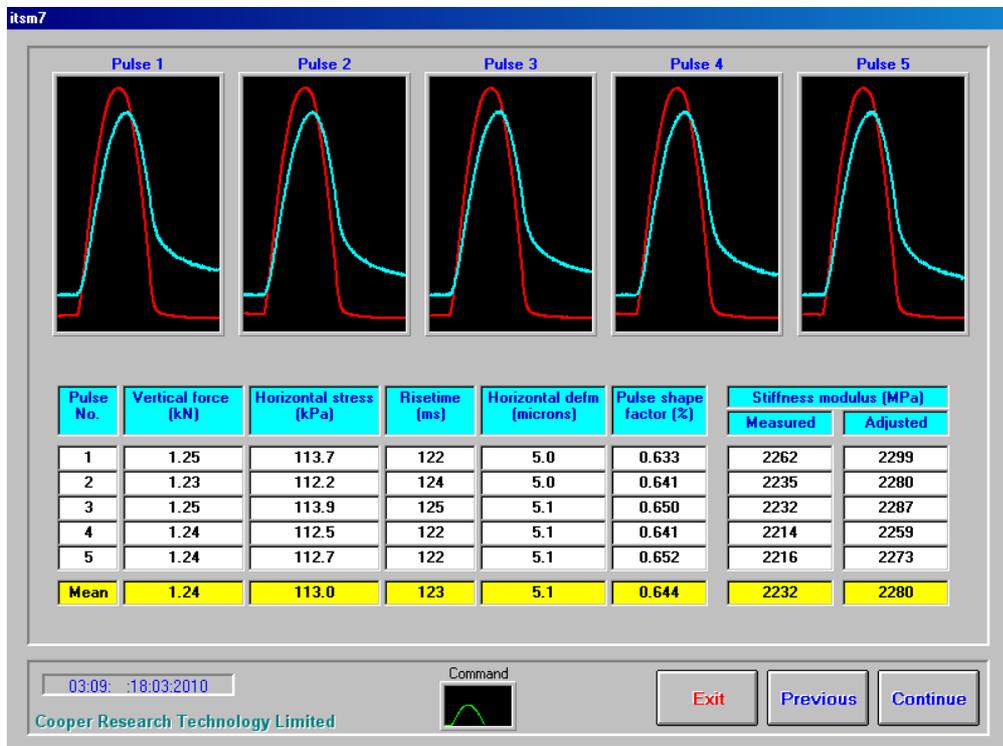
### Mezcla emulsión y agregado virgen - T 20°C



**P-4 Módulo a Deformación constante**



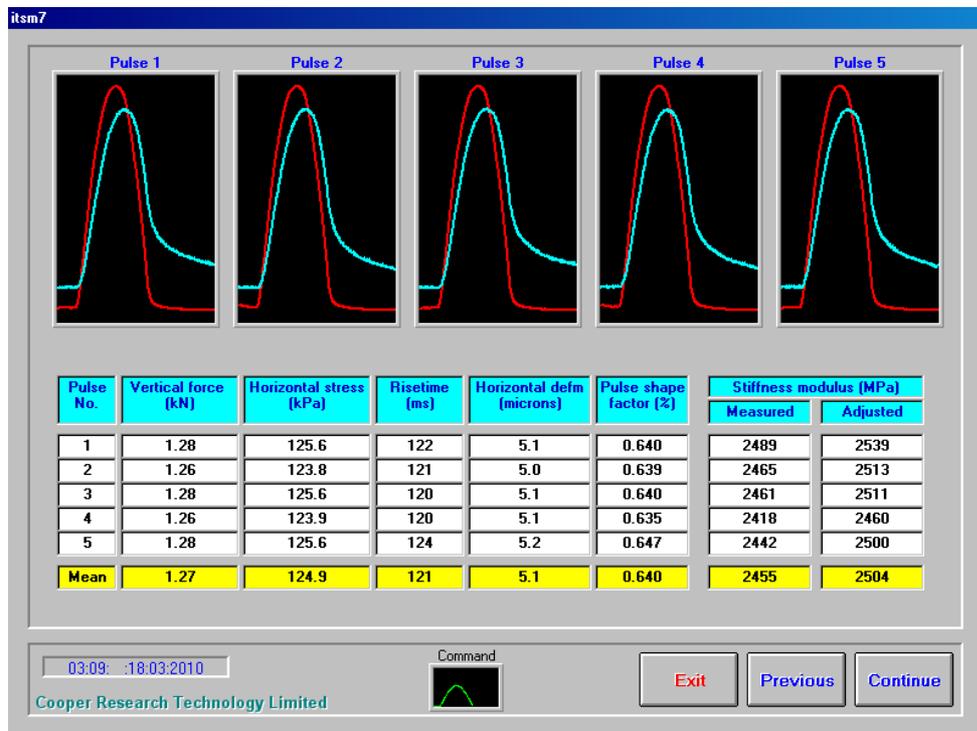
Mezcla emulsión y agregado virgen - T 35°C



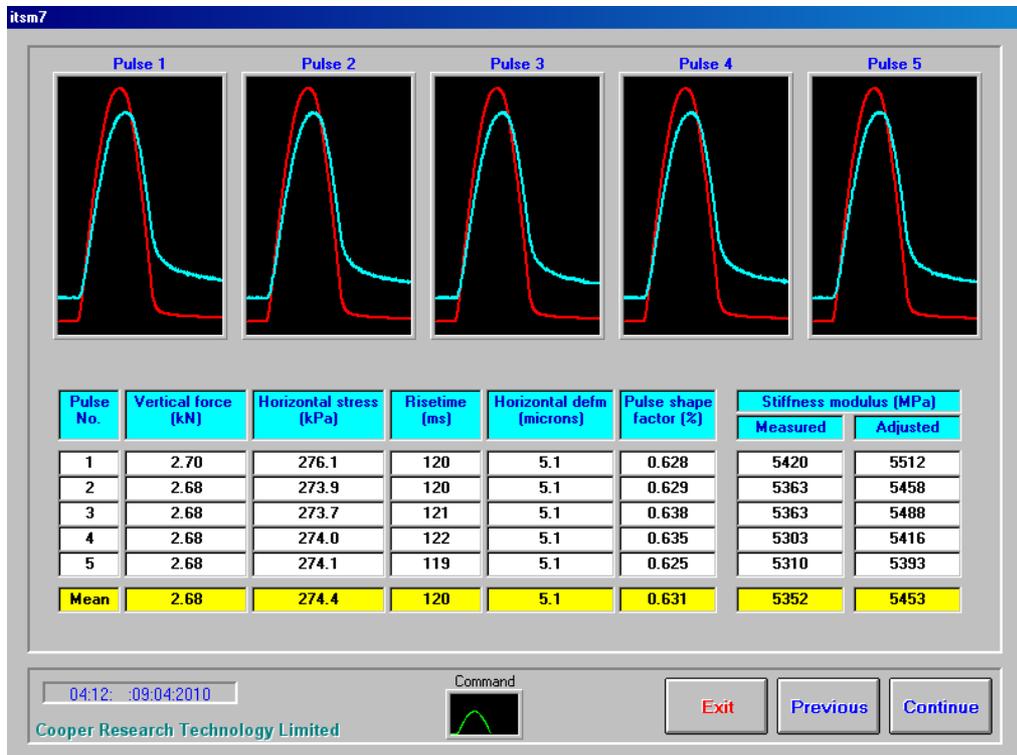
Mezcla emulsión y agregado virgen - T 35°C



### P-5 Módulo a Deformación constante



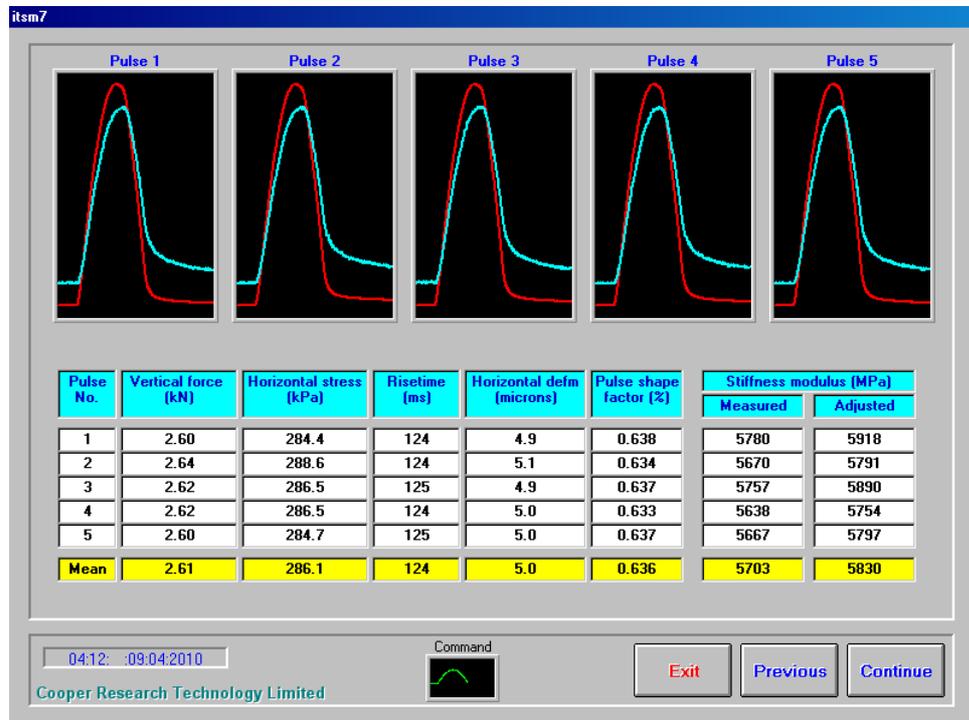
Mezcla emulsión y agregado virgen - T 35°C



Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 15°C



**P-6 Módulo a Deformación constante**



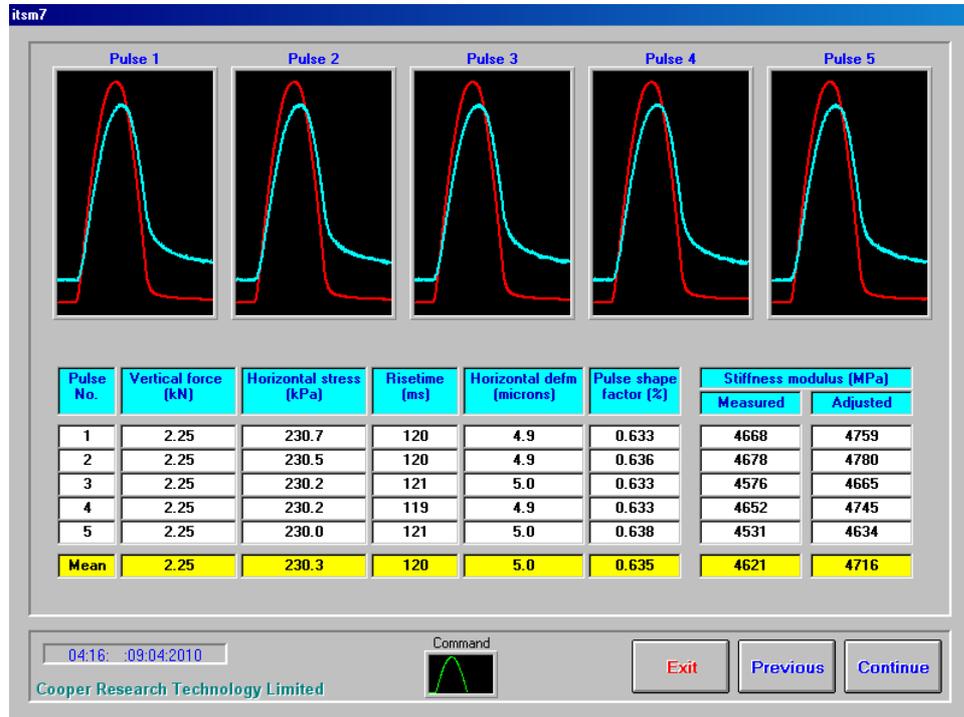
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 15°C



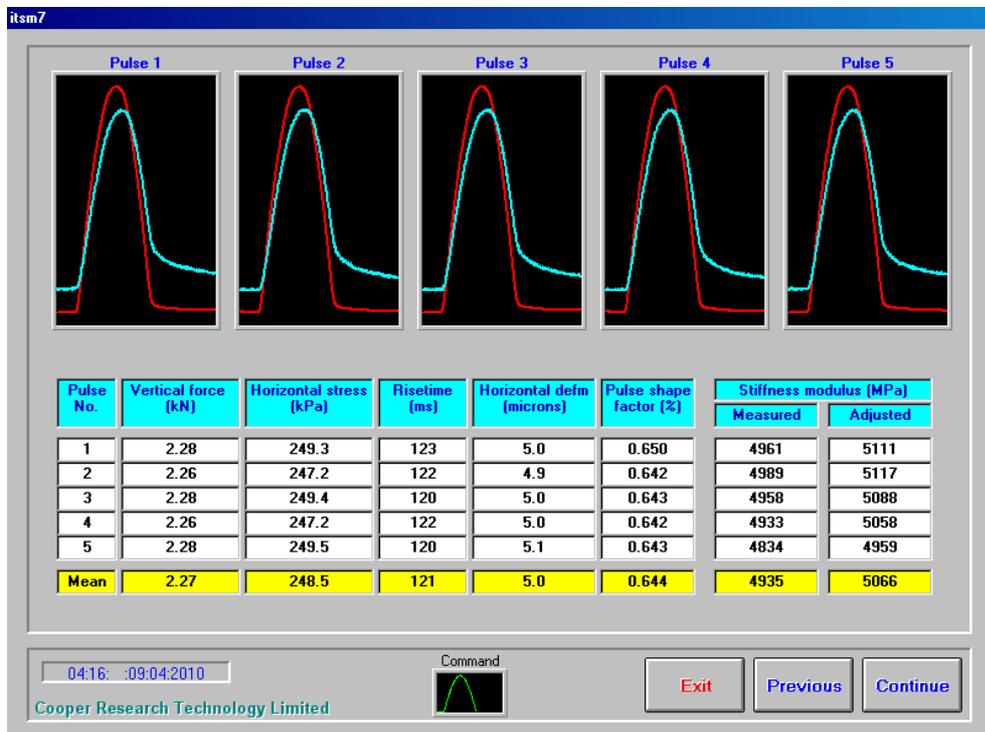
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 15°C



**P-7 Módulo a Deformación constante**



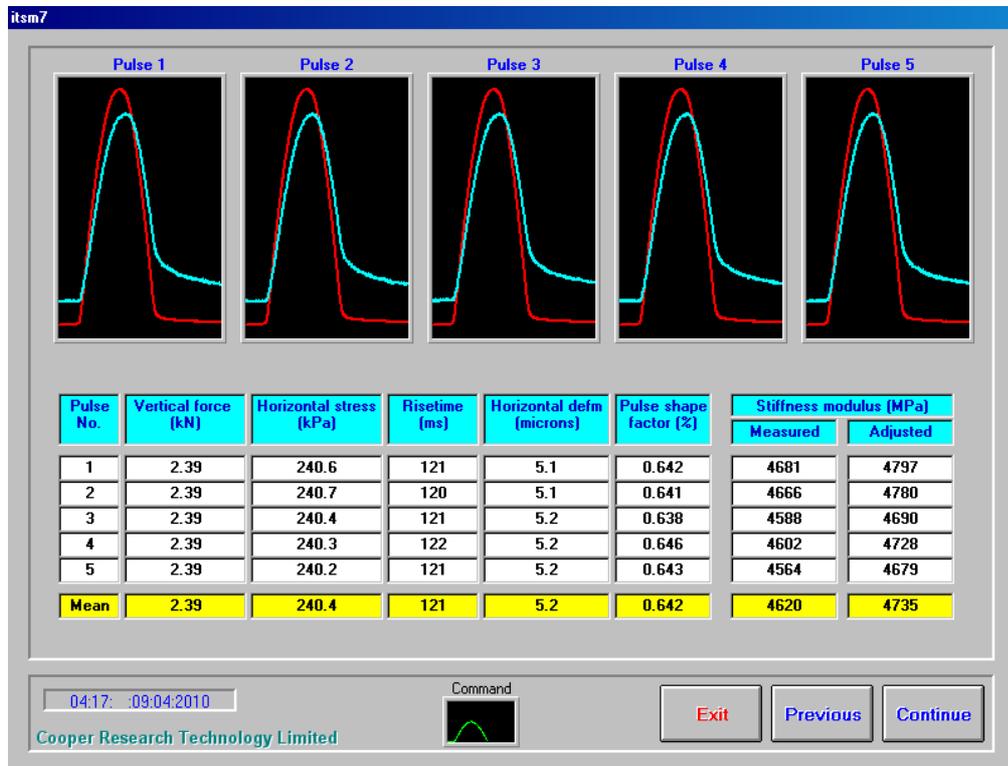
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 20°C



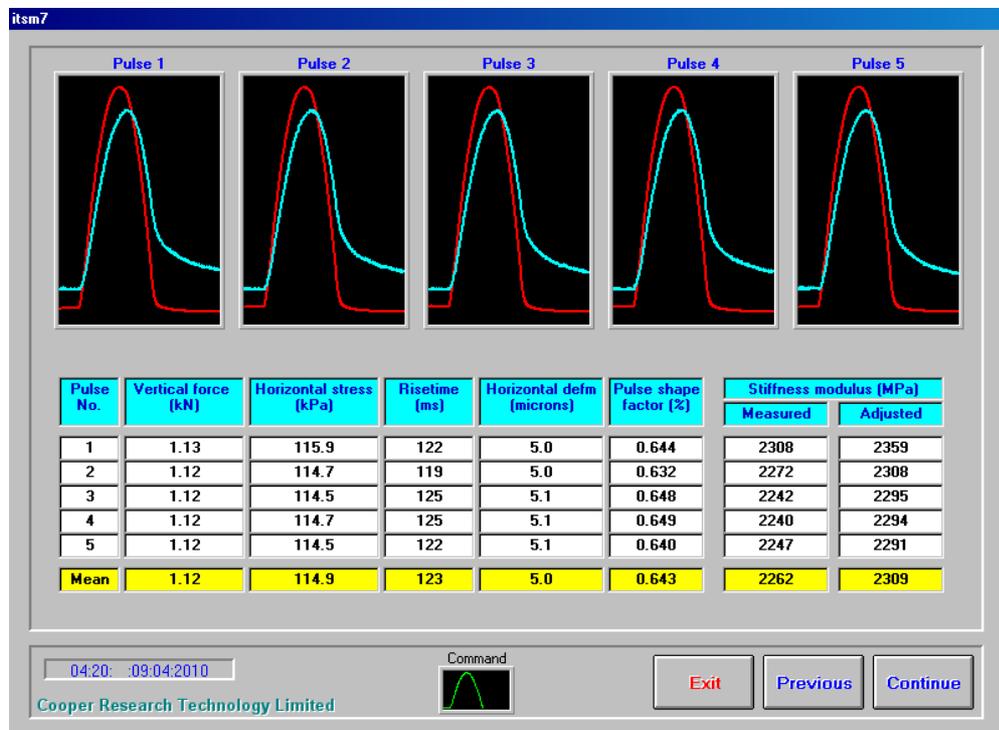
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 20°C



### P-8 Módulo a Deformación constante



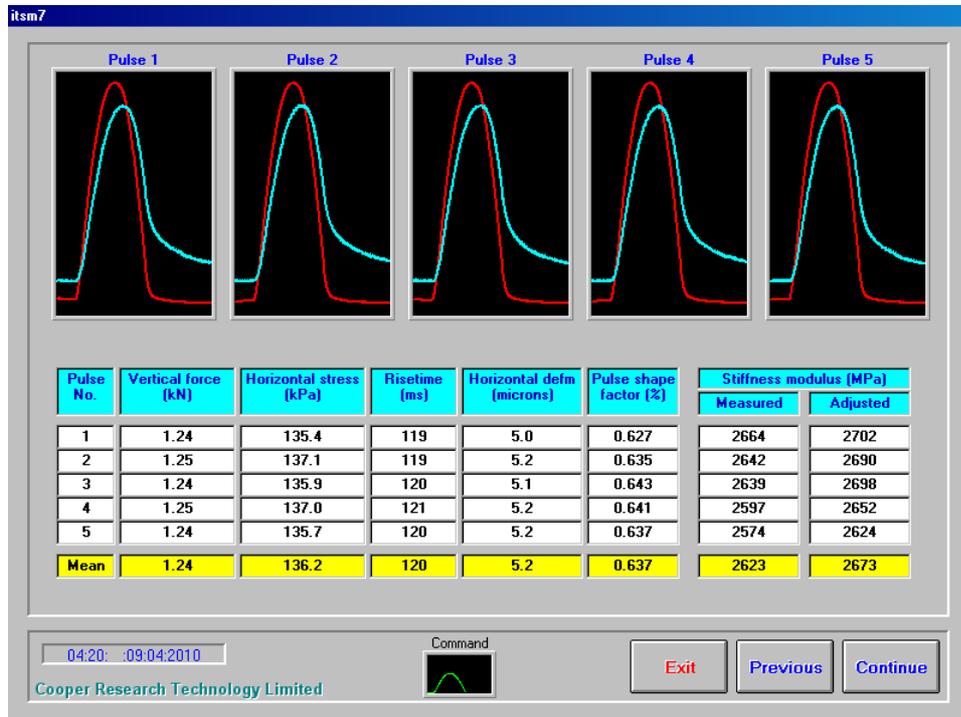
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 20°C



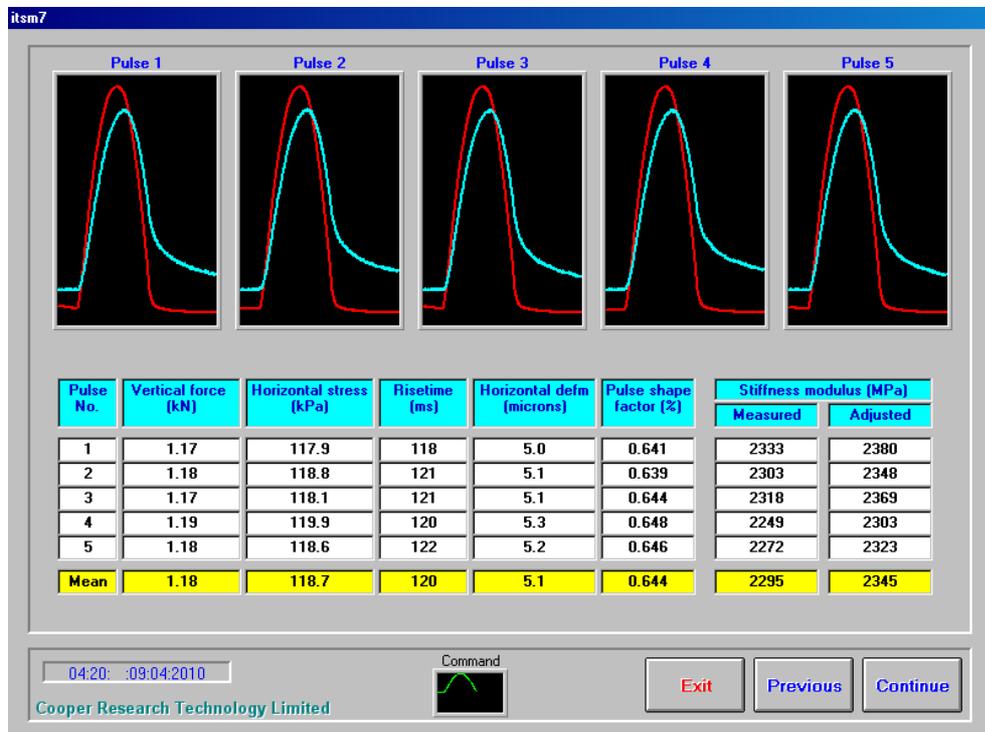
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 35°C



**P-9 Módulo a Deformación constante**



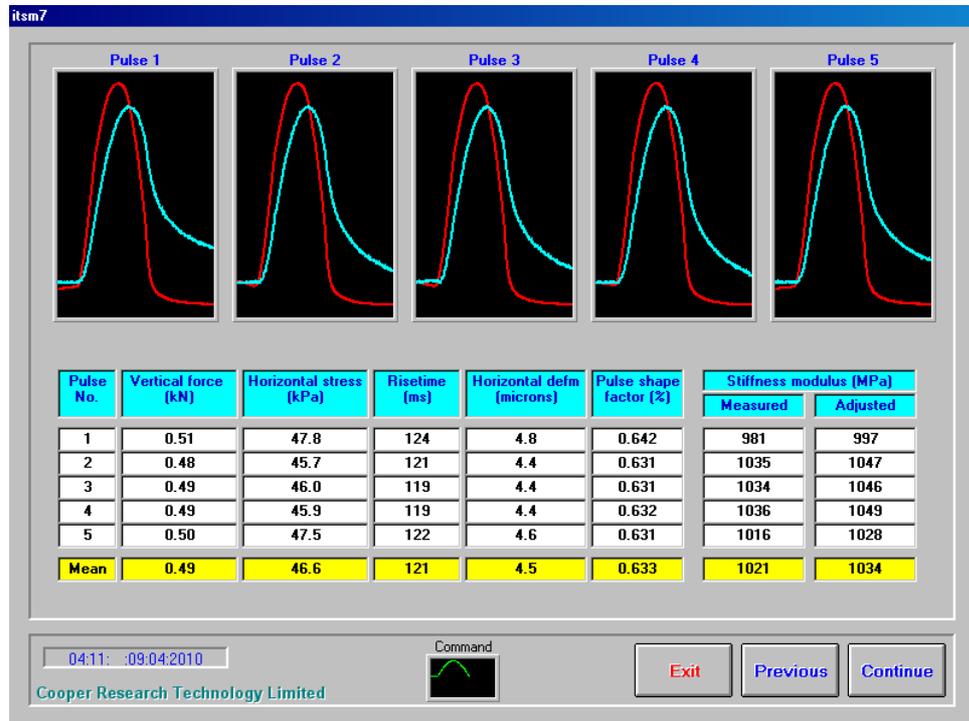
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 35°C



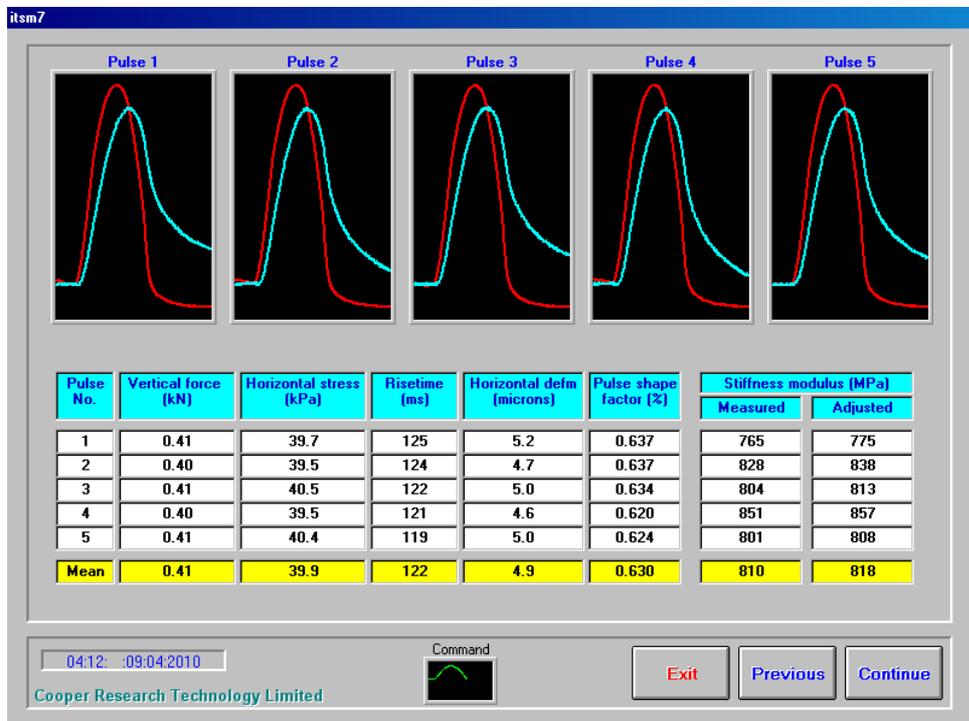
Mezcla emulsión y agregado reciclado - T 35°C



### P-10 Módulo a Deformación constante



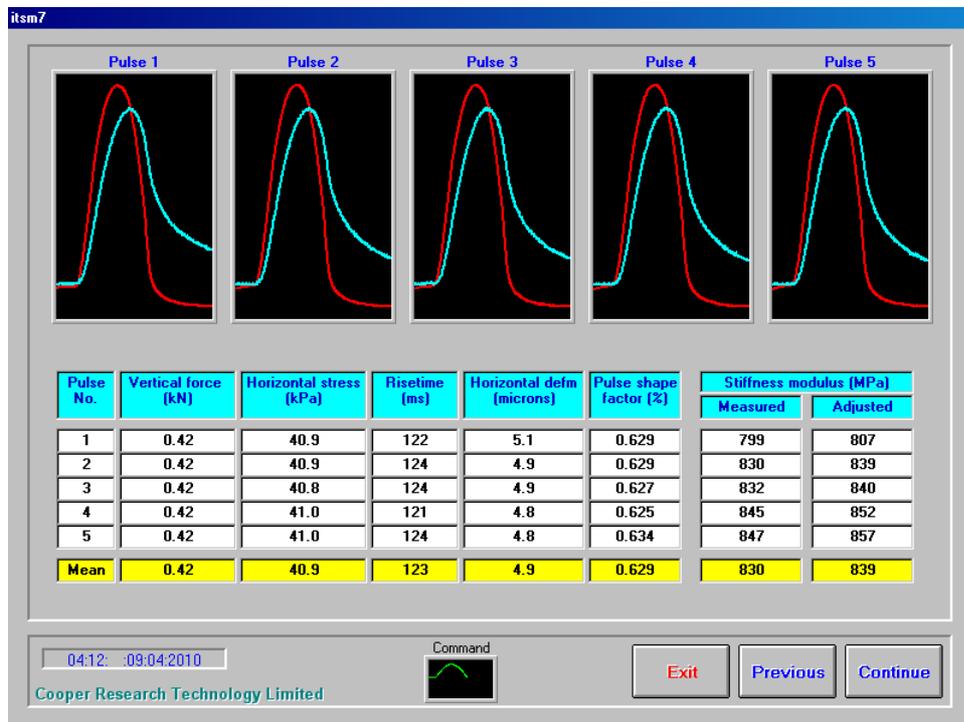
Mezcla diluido y premezclado - T 15°C



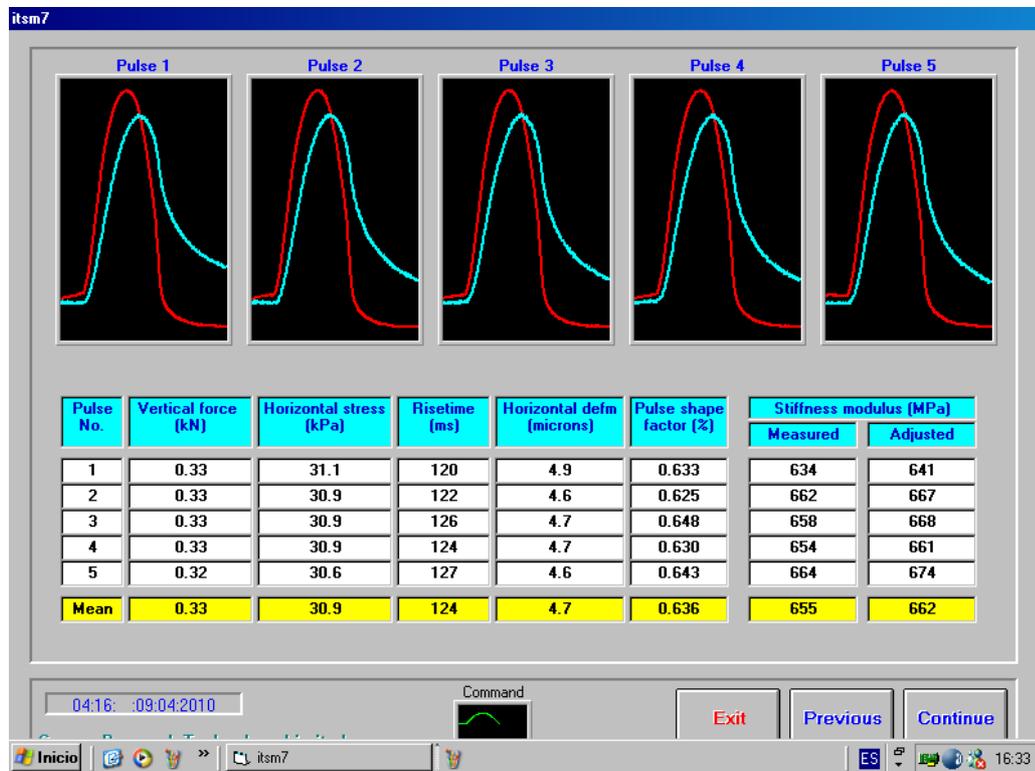
Mezcla diluido y premezclado - T 15°C



### P-11 Módulo a Deformación constante



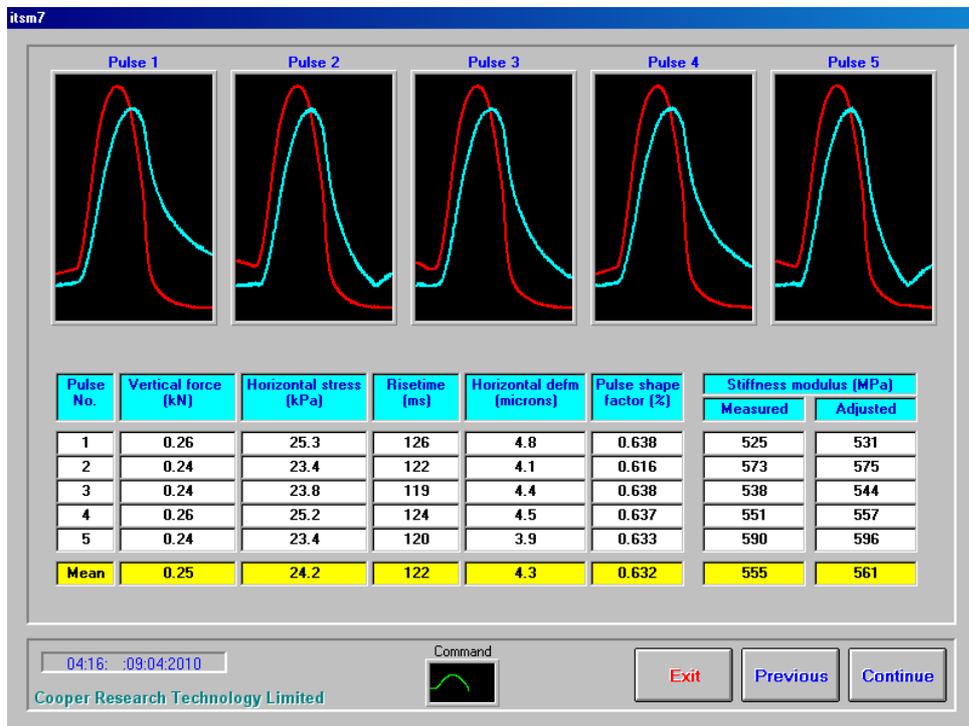
Mezcla diluido y premezclado - T 15°C



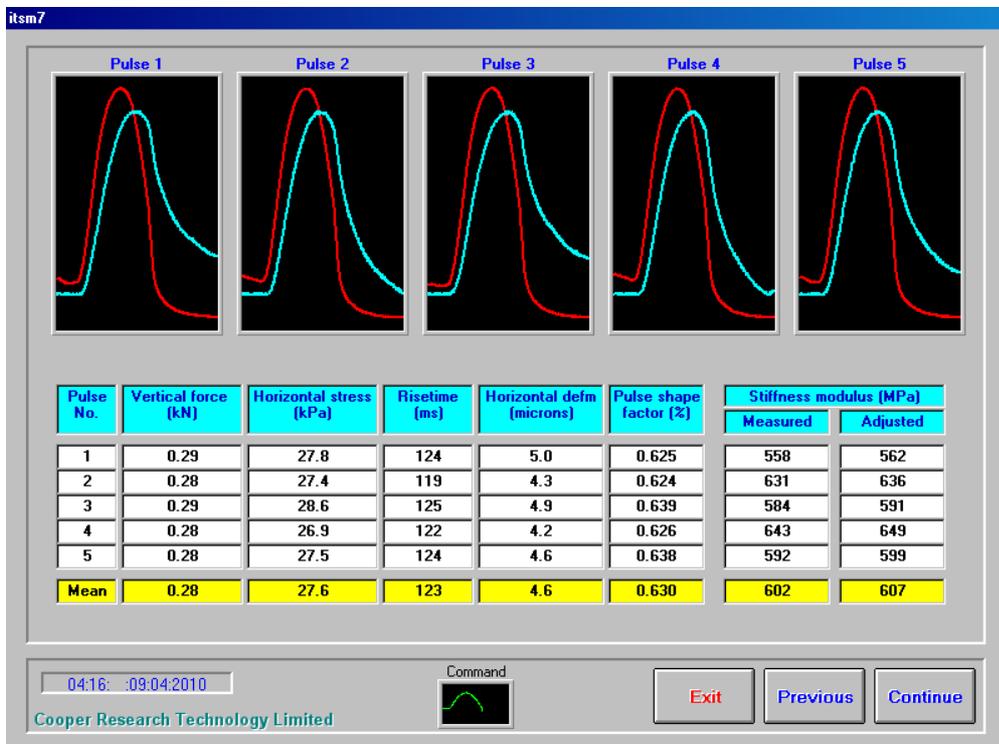
Mezcla diluido y premezclado - T 20°C



### P-12 Módulo a Deformación constante



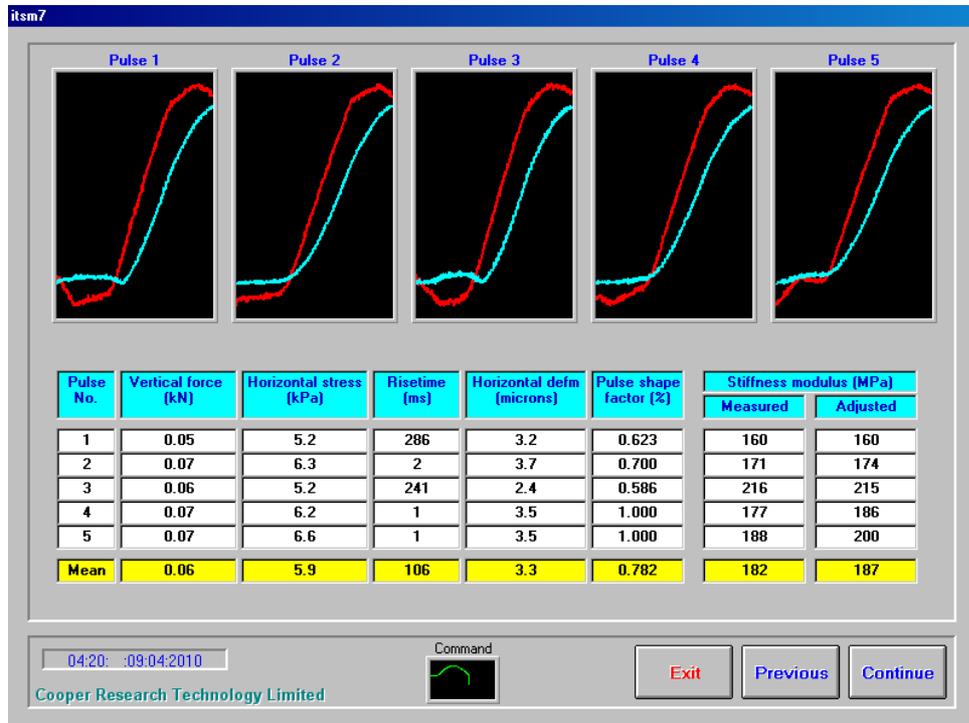
Mezcla diluido y premezclado - T 20°C



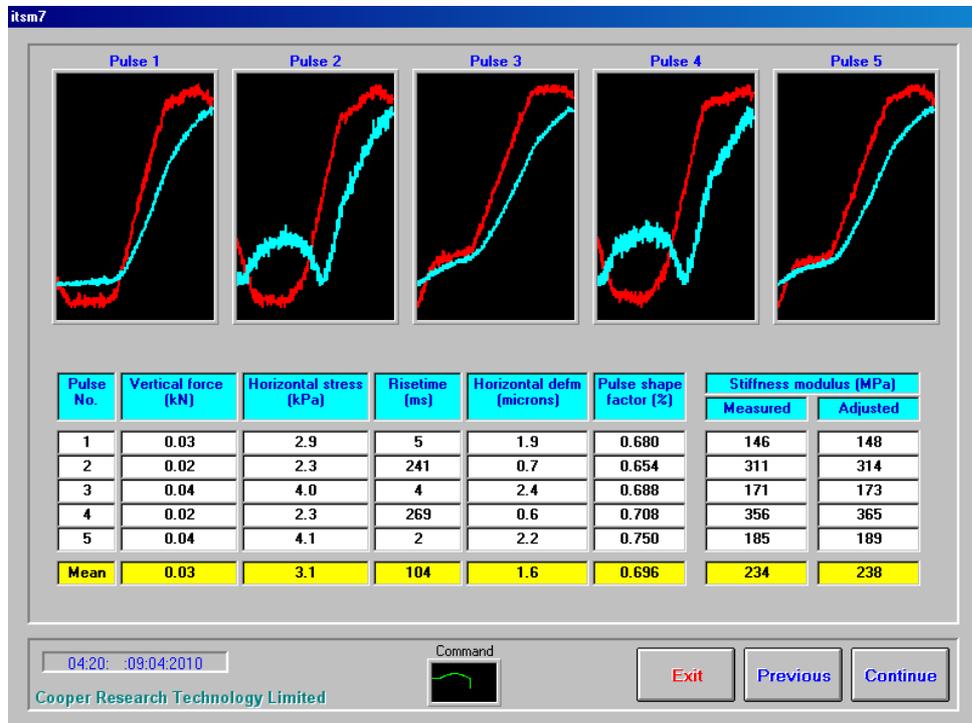
Mezcla diluido y premezclado - T 20°C



**P-13 Módulo a Deformación constante**



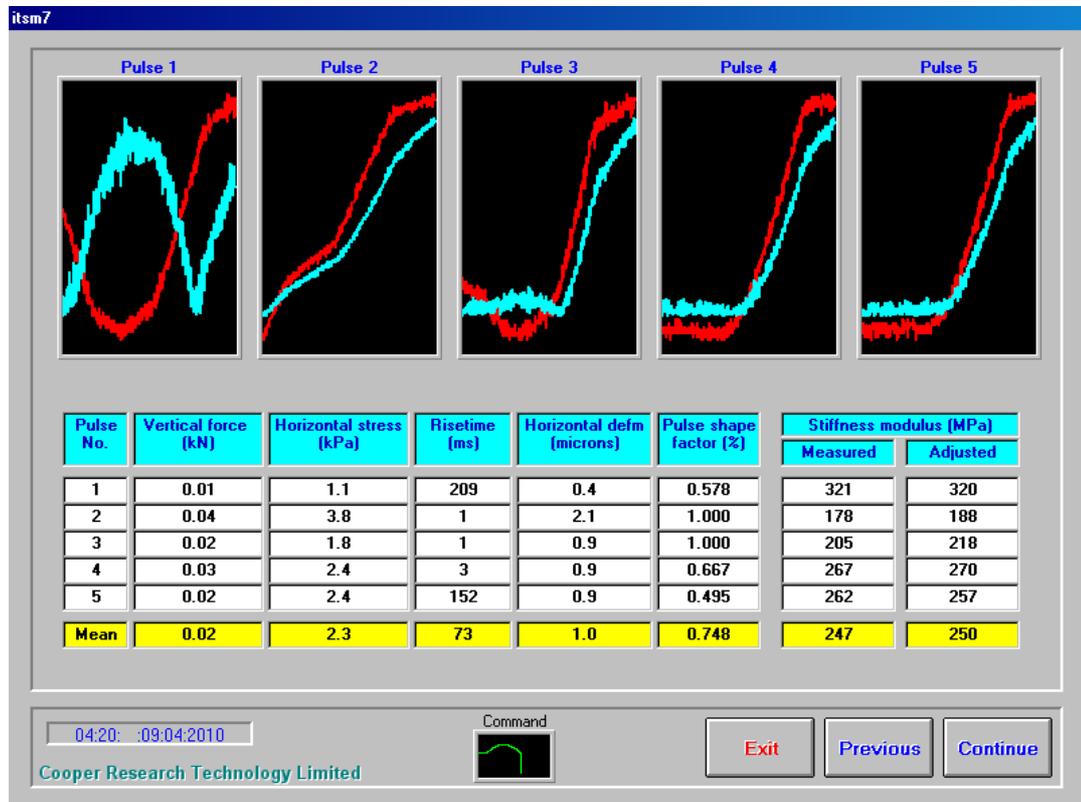
Mezcla diluido y premezclado - T 35°C



Mezcla diluido y premezclado - T 35°C



### P-14 Módulo a Deformación constante



Mezcla diluido y premezclado - T 35°C



## **BIBLIOGRAFIA**

### **Páginas de Internet**

- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/sanchez\\_r\\_se/Capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/Capitulo2.pdf) Fotos del Marshall
  
- <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/9/50777-9.pdf> Ensayo de tracción indirecta
  
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6324/12/11.pdf> Resistencia a la tracción indirecta
  
- [http://www2.udec.cl/~provia1/trabajos\\_pdf/05CarlosWahrControldecalidaddemezclas.pdf](http://www2.udec.cl/~provia1/trabajos_pdf/05CarlosWahrControldecalidaddemezclas.pdf) Descripción del ensayo de tracción indirecta
  
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6324/9/08.pdf> Tracción indirecta
  
- [http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia/asfalto%20dise\\_25F1o.htm](http://icc.ucv.cl/obrasviales/docencia/asfalto%20dise_25F1o.htm) Diseño Marshall



## **Textos de Consulta**

- Manual Básico de Emulsiones Asfálticas – Ms N° 19
- Asphalt Cold Mix Manual – Ms N° 14
- Nottingham Asphalt Tester User Manual “Sistema del equipo NAT”
- Tesis sobre las variaciones en la respuesta mecánica y dinámica de las mezclas asfálticas calientes que se utilizan en Guayaquil al variar los diversos parámetros del diseño Marshall por María José Tamayo Andrade y Eduardo Xavier Veloz López, “Metodología Marshall” en 2007.
- Tesis sobre la utilización del módulo de resiliencia dinámica como elemento para identificar la calidad de mezclas asfálticas calientes tendidas en sitio, por Carolina Salcedo Faytong, “Método Marshall y módulos dinámicos”.
- Tesis sobre los efectos de las diferentes formas de compactación (prensa y vibración) en los valores registrados para el módulo dinámica de las mezclas asfálticas calientes como elemento para identificar la calidad de las mezclas asfálticas tendidas en sitio por Jorge Luis Suarez Calderón.
- Tesis sobre Diseño de mezclas asfálticas por medio del método Marshall y las variaciones en su comportamiento ante la repetición de cargas (fatiga) por Lidza Samaniego Andrade en el año 2009.
- Tesis sobre el diseño y control de campo de un trabajo de reciclado en frío con emulsiones asfálticas, por Carlos Bravo Montesdeoca y Karina Subia Perez.
- La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Autor Alfonso Rico Rodríguez, Hermilo Del Castillo, “Comportamiento de las mezclas”, publicado por Editorial Limusa, 2006.