



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

**TEMA:**

**"DETERMINACIÓN DE GRADO ÓPTIMO DE CURADO  
PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO MEDIANTE LA  
MEDICIÓN DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS EN EL  
NOTTINGHAM ASPHALT TESTER (NAT)"**

**AUTOR:**

**Rivera Romero, Rossano Xavier**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. García Caputi, Gustavo**

**Guayaquil, Ecuador**

**2013**



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

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Rossano Xavier, Rivera Romero, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Civil.

**TUTOR**

---

**Ing. Gustavo, García Caputi**

**REVISOR**

---

**Ing. Federico, von Buchwald de Janón**

---

**Lcda. Ruth, Zambrano Saltos**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**Ing. Mario, Dueñas**

**Guayaquil, a los 15 del mes de agosto del año 2013**



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

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Rossano Xavier Rivera Romero**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación "**Determinación de grado óptimo de curado para mezclas asfálticas en frío mediante la medición de sus propiedades mecánicas en el Nottingham Asphalt Tester (NAT)**" previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

**Guayaquil, a los 15 del mes de agosto del año 2013**

**EL AUTOR**

---

**Rossano Xavier, Rivera Romero**



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

## **AUTORIZACIÓN**

**Yo, Rossano Xavier Rivera Romero**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: "**Determinación de grado óptimo de curado para mezclas asfálticas en frío mediante la medición de sus propiedades mecánicas en el Nottingham Asphalt Tester (NAT)**", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 15 del mes de agosto del año 2013**

**EL AUTOR:**

---

**Rossano Xavier, Rivera Romero**



## **AGRADECIMIENTO**

Primero que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada momento y cada paso que doy en mi vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido de soporte durante todo mi período de estudio.

Un agradecimiento especial a mis padres y mi hermano quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos.

Un agradecimiento a mi tutor el Ing. Gustavo Garcia C. por hacer posible esta tesis.

Les agradezco de corazón a las personas que me brindaron su apoyo, colaboración y esfuerzo sobre todo cariño y amistad.

**ROSSANO XAVIER RIVERA ROMERO**



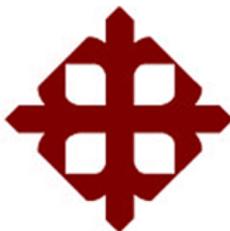
## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

ING. GUSTAVO GARCÍA CAPUTI  
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR

---

ING. FEDERICO von BUCHWALD  
PROFESOR DELEGADO



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

**CALIFICACIÓN**

---

**ING. GUSTAVO GARCÍA CAPUTI  
PROFESOR GUÍA Ó TUTOR**



## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES.....	4
1.1 Objetivo.....	4
1.2 Metodología.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Reseña histórica.....	6
2.1.1 Historia de las emulsiones asfálticas.....	6
2.2 Conceptos Básicos.....	8
2.2.2 Definición de emulsión asfáltica.....	8
2.2.3 Definición de mezclas en frío o mezclas con emulsión asfáltica.....	8
2.2.4 Definición de Módulo Diametral Resiliente.....	8
CAPÍTULO III.....	9
DESARROLLO DEL PROCESO.....	10
3.1. Preparación de las briquetas.....	10
3.1.1 Equipo para realizar las briquetas.....	10
3.2 Procedimiento del Ensayo.....	10
3.2.1 Número de briquetas.....	11
3.2.2 Preparación de los agregados.....	11
3.2.3 Diseño de la Mezcla.....	13
3.2.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación.....	14
3.3 Preparación de las mezclas.....	14
3.4 Método propuesto de Illinois para el diseño de mezclas en frío emulsión-agregado.....	18
3.4.1 Contenido óptimo de agua en la mezcla.....	18
3.4.2 Cantidad aproximada de emulsión asfáltica.....	19



<u>3.4.3 Procedimiento del Ensayo.....</u>	<u>22</u>
<u>4.5 Medición de Módulos en el Nottingham Asphalt Tester.....</u>	<u>22</u>
<u>CAPÍTULO IV.....</u>	<u>25</u>
<u>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>25</u>
<u>4.1 Módulos resilientes mezclas calientes.....</u>	<u>26</u>
<u>4.2 Módulos resilientes mezclas con emulsión.....</u>	<u>30</u>
<u>4.3 Ensayos de Fatiga.....</u>	<u>32</u>
<u>CAPÍTULO V.....</u>	<u>35</u>
<u>COMPOSICIÓN DE BRIQUETAS.....</u>	<u>35</u>
<u>5.1 Densidad teórica máxima Gmm.....</u>	<u>35</u>
<u>5.2 Extracción de asfalto.....</u>	<u>36</u>
<u>7.3 Granulometría.....</u>	<u>38</u>
<u>5.4 Resumen de densidades, porcentaje de vacíos, densidad teórica máxima y extracción de asfalto.....</u>	<u>40</u>
<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>42</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>43</u>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales Utilizados.....	11
Tabla 2 Diseño de la mezcla.....	13
Tabla 3 Registro de Secado de las briquetas con emulsión.....	25
Tabla 4 Medición de Módulos en mezclas calientes durante 8 meses.....	26
Tabla 5 Medición de módulos en mezclas con emulsión durante 8 meses.....	30
Tabla 6 Ensayo de fatiga briquetas con emulsión.....	32
Tabla 7 Ensayo de fatiga briquetas con emulsión.....	32
Tabla 8 Densidad Teórica Máxima de las mezclas calientes.....	35
Tabla 9 Densidad Teórica Máxima de las mezclas con emulsión.....	35
Tabla 10 Extracción de Asfalto en las mezclas calientes.....	36
Tabla 11 Extracción de asfalto mezcla con emulsión.....	37
Tabla 12 Ensayo de Granulometría mezclas calientes.....	38
Tabla 13 Ensayo granulométrico mezclas con emulsión.....	39
Tabla 14 Resumen briquetas preparadas en caliente.....	40
Tabla 15 Resumen briquetas preparadas en frío.....	41



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1 Comparación Asfalto – Rigidez – Temperatura.....	3
Figura 2 Factor de reducción que representa el curado en 6 meses.....	3
Figura 3 Relación Modulo-Temperatura (Escala Chevron).....	3
Figura 4 Representación gráfica collar de carga (4).....	9
Figura 5 Secado de los agregados pétreos a 110 grados centígrados.....	11
Figura 6 Tamizado de los agregados pétreos.....	12
Figura 7 Clasificación de los agregados.....	12
Figura 8 Pesado de los Agregados (5000 g).....	14
Figura 9 Colocación del asfalto.....	15
Figura 10 Calentamiento de los moldes.....	16
Figura 11 Colocación de los 1200 g de material.....	16
Figura 12 Compactación de las mezclas.....	17
Figura 13 Extractor de muestras.....	17
Figura 14 Contenido óptimo de agua del 6%.....	18
Figura 15 Colocación de los 5000 gr de material.....	20
Figura 16 Colocación 300 gr de agua.....	20
Figura 17 Colocación de 627 gr de Emulsión.....	21
Figura 18 Mezclado de asfalto junto con los agregados.....	21
Figura 19 Nottingham Asphalt Tester (NAT).....	22
Figura 20 Control de Temperatura 20 grados.....	22
Figura 21 Nottingham Asphalt Tester (NAT).....	23
Figura 22 Densidad de la Briqueta (Gb).....	23
Figura 23 Colocación de la briqueta.....	24
Figura 24 Medición del Módulo.....	24
Figura 25 Diagrama de Barras, valores de Módulos Resilientes.....	28
Figura 26 Ecuación Logarítmica Promedios de Módulos Resilientes.....	28
Figura 27 Diagrama de Barras de Módulos Resilientes mezclas con emulsión.....	31
Figura 28 Ecuación Logarítmica Promedios de Módulos Resilientes.....	31
Figura 29 Representación grafica Log $\epsilon$ vs Log N.....	33
Figura 30 Representación gráfica Log $\sigma$ vs Log N.....	34



## **RESUMEN (ABSTRACT)**

En este estudio como objetivo principal de comparar el desarrollo de cohesión en el asfalto que ocurre en una mezcla con emulsión asfáltica con las características de una mezcla equivalente en caliente se ha escogido un solo diseño granulométrico y se utilizado un mismo contenido de asfalto y una energía de compactación igual midiendo sus propiedades mecánicas y analizando resultados durante 8 meses para finalmente conocer su desempeño y concluir si esta etapa en el cual las briquetas se “curan” es suficiente para establecer un patrón de comportamiento y además registrar si la emulsión asfáltica es superior, inferior o similar a la preparada con asfalto caliente



## INTRODUCCIÓN

Originalmente las relaciones de rigidez de mezclas con emulsión asfáltica fueron desarrolladas por la compañía Chevron y este estudio se encuentra en el libro “Research and Development of The Asphalt Institute’s Thickness Design Manual (MS-1) Ninth Edition. Research Report No. 82-2 August 1982. Para esta investigación se escogerá como base el estudio realizado por el Instituto de Asfalto y así poder determinar la rigidez de las mezclas con emulsión en su etapa de curado.

Las relaciones de rigidez de las mezclas de emulsión asfálticas están basadas en la información desarrollada por la compañía CHEVRON en las que analizó 32 diferentes tipos de muestras a temperatura de 23° C y de 38° C. Analizaron la información y con esto pudieron obtener la definición de los tres diferentes tipos de mezclas que en el manual de diseño se contemplan como la Tipo I, II, III.

La información que demostraron en la figura 1 representa la rigidez característica de las mezclas en el estado de curado. Aquí se puede ver como relacionan el módulo dinámico con la temperatura y con la siguiente expresión representaron los efectos del curado:

$$E_{T,t} = E_{T,f} - (E_{T,f} - E_{T,i}) (RF_t)$$

$E_{T,t}$  = Módulo a una temperatura “T” en un tiempo de curado “t”.

$E_{T,f}$  = Módulo en un estado totalmente curado a una temperatura “T”.

$E_{T,i}$  = Módulo en un estado no curado (inicial) a una temperatura “T”.

$RF_t$  = Factor de Reducción que representa la cantidad de curado en un tiempo “t” y está definido en la figura 2 por un tiempo de 6 meses de curado.

El procedimiento desarrollado por CHEVRON para representar a los efectos del tiempo de curado y la temperatura sobre el comportamiento de las mezclas de emulsión asfáltica se adoptó para permitir la definición de la rigidez de los tres tipos de mezcla en un rango de temperaturas y condiciones de curado.

Todas las mezclas de emulsión se supone que tienen una rigidez máxima de  $5 \times 10^6 psi$  en el estado curado por completo y una rigidez mínima de 50000 psi en la condición no curada (inicial).

Además de todo esto la figura 3 representa los datos de la rigidez para la mezcla Tipo I en ambos casos, estado curado y no curado de acuerdo a los procedimientos realizados por la CHEVRON. (Z)

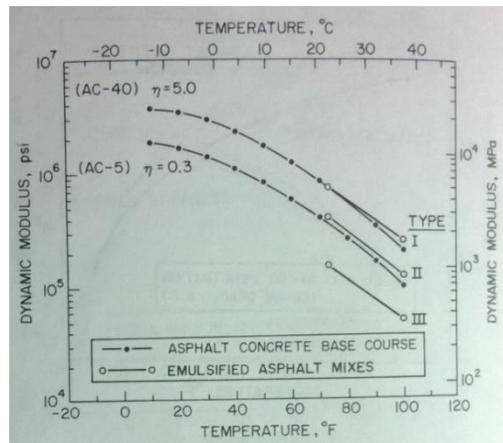


Figura 1 Comparación Asfalto – Rigidez - Temperatura

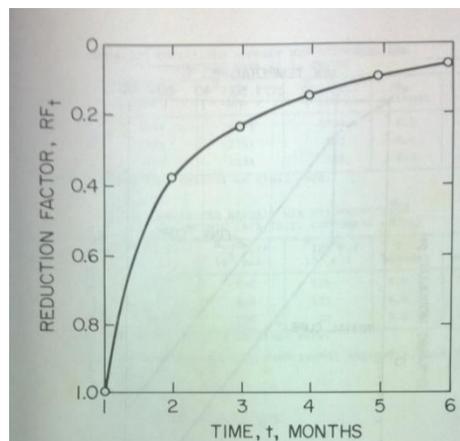


Figura 2 Factor de reducción que representa el curado en 6 meses

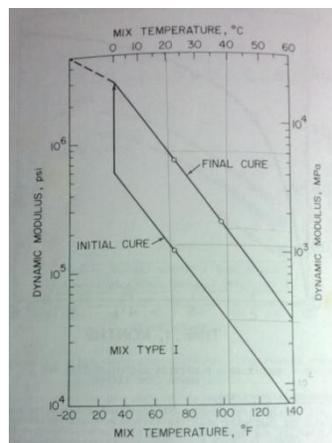


Figura 3 Relación Modulo-Temperatura (Escala Chevron)



# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

A continuación se detallará el objetivo principal de la investigación, la metodología con la cual se procederá a trabajar y el alcance que se espera al final de la investigación.

### 1.1 OBJETIVO

Comparar el desarrollo de cohesión en el asfalto que ocurre en una mezcla fría (emulsión asfáltica) con las características de una mezcla equivalente en caliente.

### 1.2 METODOLOGÍA

Para alcanzar el objetivo se necesita un diseño de mezcla tanto para las briquetas en caliente como las briquetas con emulsión. Debido a que los dos tipos de briquetas tienen que ser equivalentes se usará el mismo diseño al momento de la preparación. Para la investigación se tendría que elaborar un diseño, pero en este caso se escogerá uno que se usa a diario en la planta asfáltica de la compañía Concretos y Prefabricados.

Obtenido el diseño se procede a la preparación de las briquetas asfálticas:

- Para la preparación de las briquetas en caliente se usará el MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS (ASTM D 1559). Se prepararán cuatro briquetas en caliente con agregados de 3/4, agregados de 3/8 y arena #1 y se les aplicará una energía de compactación de 50 golpes.
- Para la preparación de las briquetas con emulsión se usará el MÉTODO PROPUESTO DE ILLINOIS basado en el Método Marshall Modificado. Se prepararán cuatro briquetas con emulsión con los mismos agregados de la briketa en caliente, ya que tienen que ser equivalentes; por lo tanto se aplicará la misma energía de compactación.



Esta equivalencia en las briquetas es respecto a su granulometría y su contenido de asfalto, al momento de la compactación se pretende obtener una cantidad de vacíos similares.

Luego de la preparación empieza la etapa de secado de las briquetas con emulsión y terminada esta etapa se procederá a la medición de las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas (módulo resiliente, ensayo de tracción indirecta) se medirán con el paso del tiempo, es decir, en su etapa de curado.

Finalmente, se realizarán ensayos de composición de briquetas para corroborar lo antes mencionado respecto a la granulometría, contenido de asfalto y porcentaje de vacíos.

### **1.3 ALCANCE**

Conocer que tanto influye el curado que se realiza a una mezcla con el paso del tiempo, es decir cómo cambia su módulo a medida que pierde humedad ya sea a una temperatura ambiente o en un horno.

Determinar el grado óptimo de curado para la mezcla con emulsión asfáltica.



## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 RESEÑA HISTÓRICA

#### 2.1.1 HISTORIA DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Las emulsiones asfálticas fueron desarrolladas por primera vez a comienzos del sigloXX. Fue en los años 20 cuando su uso se generalizó a las aplicaciones viales. Inicialmente el uso de las emulsiones asfálticas creció de manera relativamente lenta ya que existía una falta de conocimiento sobre su correcta aplicación; pero con el desarrollo de nuevos tipos y grados, sumado a equipos de construcción y prácticas mejoradas, ofrece ahora una amplia gama de elección.(ASPHALT INSTITUTE MANUAL No. 19)

La selección y el uso juicioso de las emulsiones asfálticas pueden resultar en sustanciales beneficios económicos y ambientales. Entre 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, especificaron mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico como ligante. Mientras el volumen de cemento asfáltico empleado ha crecido enormemente desde 1953, el uso en conjunto de otros productos asfálticos se ha mantenido casi constante. Pero ha habido un firme aumento en el volumen de emulsiones asfálticas utilizadas. (ASPHALT INSTITUTE MANUAL No. 19)

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

Factor 1: La crisis energética de comienzos de los años 70. 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.

Factor 2: Preocupación por reducir la polución atmosférica. Las emulsiones asfálticas emiten hacia la atmósfera poco o nada de sustancias hidrocarbonadas.

Factor 3: La disponibilidad de una variedad de tipos de emulsión. Se han desarrollado nuevas formulaciones y técnicas de laboratorio mejoradas con el fin de satisfacer los requerimientos de diseño y construcción.



Factor 4: La aplicabilidad de emulsiones en mantenimiento preventivo de pavimentos, incrementando 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.



## **2.2 CONCEPTOS BÁSICOS**

### **2.2.2 DEFINICIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA**

Cuando el asfalto es mecánicamente separado en partículas microscópicas y dispersado en agua con un agente emulsivo, se convierte en una emulsión asfáltica. Las pequeñísimas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersas en la emulsión hasta el momento en que esta es utilizada. En el estado de emulsión las moléculas del agente emulsivo se orientan rodeando a las gotitas de asfalto. La naturaleza química del sistema emulsivo/asfalto/agua determina las características de la dispersión y estabilidad de la suspensión. Cuando se utilizan las emulsiones en obra, el agua se evapora hacia la atmósfera, quedando el agente emulsivo retenido en el asfalto. (Manual Básico de Emulsiones Asfálticas No. 19)

### **2.2.3 DEFINICIÓN DE MEZCLAS EN FRÍO O MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA**

La mezcla en frío o mezcla con emulsión asfáltica es la combinación de agregados pétreos o áridos con un ligante asfáltico emulsionado.

Estos áridos componen el esqueleto de la mezcla y se adhieren y cohesionan entre sí gracias a las propiedades que tiene el ligante asfáltico. Es necesario que los áridos mantengan una granulometría específica determinada por el diseño de la mezcla.

Las mezclas en frío comúnmente son llamadas “Emulsiones Asfálticas”.



### 2.2.4 DEFINICIÓN DE MÓDULO DIAMETRAL RESILIENTE

El módulo diametral resiliente (MR) se utiliza para determinar la contribución estructural de la mezcla en el pavimento.

La metodología actual para diseño de pavimentos utilizada por el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales constitutivos de la sección de una carretera es el parámetro denominado módulo resiliente. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica No. 197) (2002)

Para obtener el módulo resiliente en la investigación se usará el Nottingham Asphalt Tester (NAT) en el cual la muestra se asegura con un collar y se la coloca bajo la célula de carga. Esta carga dinámica se aplica a lo largo de su eje diametral (diámetro= 4”). Debido a la carga aplicada se producen deformaciones perpendiculares a la aplicación de la carga, que son medidas por medio de transductores. Estas cargas mantienen a la briqueta dentro de un régimen recuperable o elástico en la que hay un intervalo de descanso entre cargas. La fórmula es:

$$M_r = \frac{P(\mu + 0.2734)}{\Delta h * t}$$

Mr: Módulo Resiliente

P: Carga Aplicada dinámica libre (lb)

$\mu$ : coeficiente de Poisson: 0,35

$\Delta h$ : deformación total en pulg.

t: espesor de las probetas en pulg

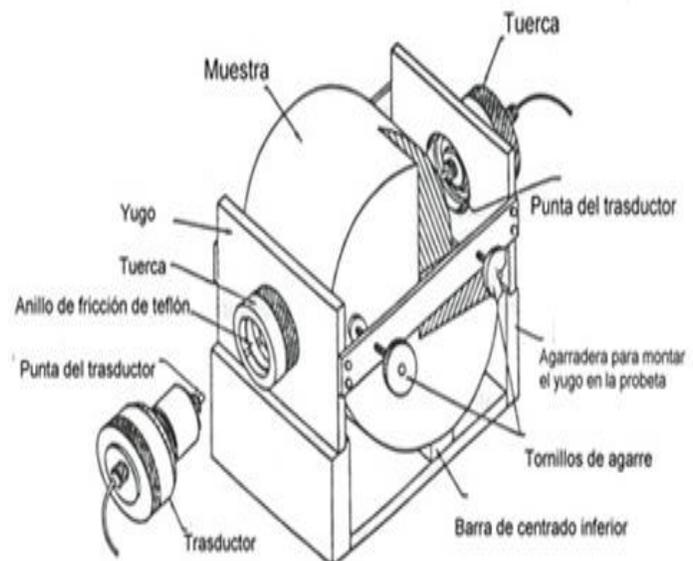


Figura 4 Representación gráfica collar de carga (2)



## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROCESO**

A continuación se detallará el procedimiento para preparar las briquetas usando el método Marshall. El procedimiento completo y detallado que se debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559).

#### **3.1. PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS**

##### **MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS – DESCRIPCIÓN.**

(ASTM D 1559). (4)

##### **3.1.1 EQUIPO PARA REALIZAR LAS BRIQUETAS**

Se necesitan todos los elementos para el ensayo Marshall, que son el molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 pulgadas de altura con su collar de extensión, el martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 de pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordazas de ensayo.

Además otros elementos para poder realizar las muestras como los hornos, las estufas pequeñas, las bandejas metálicas, los extractores de muestras, los tamices etc.



## 3.2 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

### 3.2.1 NÚMERO DE BRIQUETAS

Para la investigación se procederá a preparar cuatro briquetas para la combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico elegido. Tanto el asfalto como los agregados deberán cumplir individualmente las especificaciones correspondientes a ellos. Estas especificaciones están a continuación:

### 5.2.2 PREPARACIÓN DE LOS AGREGADOS

En primer término se secan los agregados a 110 grados centígrados hasta peso constante. Se registran los pesos cada cierto tiempo para asegurarnos que se ha perdido la mayor cantidad de humedad posible.

Tipo de Material
Agregados 3/4 "
Agregados 3/8 "
Arena # 1

**Tabla 1 Materiales Utilizados**



**Figura 5 Secado de los agregados pétreos a 110 grados centígrados**



El siguiente paso es tamizar todos los agregados para clasificarlos según su tamiz.



**Figura 6 Tamizado de los agregados pétreos**

Luego se procede a separar los agregados según su granulometría.



**Figura 7 Clasificación de los agregados**



### 3.2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA

El Diseño de la mezcla fue obtenido del LABORATORIO DE SUELOS Y DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CONCRETOS Y PREFABRICADOS. Realizado por el laboratorista de Suelos y Mezclas Asfálticas Paco Alcoser. En el laboratorio se trabajó con la siguiente gradación y porcentajes de agregados:

<b>Combinada de La mezcla</b>	
<b>Tamices</b>	<b>% Pasante</b>
<b>3/4 "</b>	<b>100</b>
<b>1/2 "</b>	<b>90</b>
<b>3/8 "</b>	<b>80</b>
<b>4</b>	<b>66,5</b>
<b>8</b>	<b>50</b>
<b>16</b>	<b>36</b>
<b>30</b>	<b>25,5</b>
<b>50</b>	<b>16</b>
<b>100</b>	<b>8</b>
<b>200</b>	<b>6</b>

**Tabla 2 Diseño de la mezcla**



### 3.2.4 DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

La temperatura para calentar el ligante asfáltico y producir viscosidades de  $170 \pm 20$  centistokes y  $280 \pm 30$  centistokes debe establecerse como la de la mezcla con los agregados y la compactación respectivamente. Debe evitarse un calentamiento excesivo del ligante asfáltico, el cual trae como consecuencia su endurecimiento. (1 Stokes = 100 centistokes =  $1 \text{ cm}^2/\text{s} = 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$ ). (ASTM D1559)

### 3.3 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

La experiencia ha demostrado que las mezclas de agregados y ligante asfáltico de 1200 gramos de peso permiten obtener muestras compactadas de  $2.5 \pm 0.01$  pulgadas de altura. Por lo tanto para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de cada fracción de agregados y cemento asfáltico para alcanzar dicho peso. (ASTM D1559)

Como en los 1200 gramos para la investigación que se está realizando se va a usar 7 % de cemento asfáltico, el 93% lo componen los agregados pétreos y por ende se empleará un 93 % de cada fracción.



**Figura 8 Pesado de los Agregados (5000 g)**

Luego de colocar la cantidad requerida para obtener cuatro briquetas de mezcla caliente (5 Kilogramos de material) se colocan todos los agregados pétreos en el horno a 145 grados durante dos horas, una hora antes de retirarlos del hornos se coloca el asfalto para que entre en la misma temperatura, así se podrá realizar las mezclas y compactarlas a una temperatura aproximada entre los 135 – 140 grados.



Pasadas las dos horas se retiran los agregados (5 Kilogramos) se los coloca en la bandeja de mezclado y se procede a pesarlos para obtener el peso real de asfalto, sabiendo que los agregados componen al 93% del peso total. Se realiza una regla de tres.

En la bandeja de mezcla deberá colocarse la cantidad indicada de (5 Kilogramos) de agregado a la temperatura entre 135 y 140 grados centígrados, mezclándose estas rápidamente y abriéndose un cráter dentro del cual se añade la cantidad calculada de cemento asfáltico, también a la temperatura especificada entre 135 – 140 grados.



**Figura 9 Colocación del asfalto**

Antes de colocar la mezcla dentro del molde, tanto este como el pistón de compactación debe limpiarse con gasolina y colocarse en el horno entre 100 y 150 grados durante unos 30 minutos.



**Figura 10 Calentamiento de los moldes**

Al retirarlo de la estufa, se arma el molde, se lo coloca su base y collar de extensión y se coloca el fondo, previamente untado con aceite, colocando luego de manera rápida dentro de él, la mezcla de 1200 gramos, la cual debe emparejarse con una espátula o palustre caliente.



**Figura 11 Colocación de los 1200 g de material**

A continuación, se sujeta el molde con el aro de ajuste que tiene para tal efecto, se colocó en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata del pisón y se aplican 50 golpes a caída libre.



**Figura 12 Compactación de las mezclas**

Terminada la aplicación del número de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo aplicando el número de golpes a lo que ahora es la cara superior de la muestra.

Se retira el molde del pedestal, se le quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente

Se coloca la muestra en el extractor de muestras y se procede a identificarla marcándola con una crayola.



**Figura 13 Extractor de muestras**

Se pesa y se mide el espesor de cada una de las muestras.

Finalmente, se las coloca sobre una superficie lisa y se las deja en un lugar ventilado.



### 3.4 MÉTODO PROPUESTO DE ILLINOIS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS EN FRÍO EMULSIÓN-AGREGADO

Este método de diseño para mezclas con emulsión está basado en una investigación desarrollada por la Universidad de Illinois usando el método de diseño de mezclas Marshall modificado y el ensayo de durabilidad húmeda.

#### 3.4.1 CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA EN LA MEZCLA

Para determinar el contenido óptimo de agua en la mezcla se prepararon 4 muestras representativas escogiendo agregados desde el tamiz 3/8" hasta el pasante del tamiz #200. Se usaron incrementos de agua en el orden del 1%, este proceso se repitió 3 veces para comprobar el porcentaje de agua óptimo. Como resultado final se pudo deducir mediante observación que el porcentaje óptimo era el del 6%.

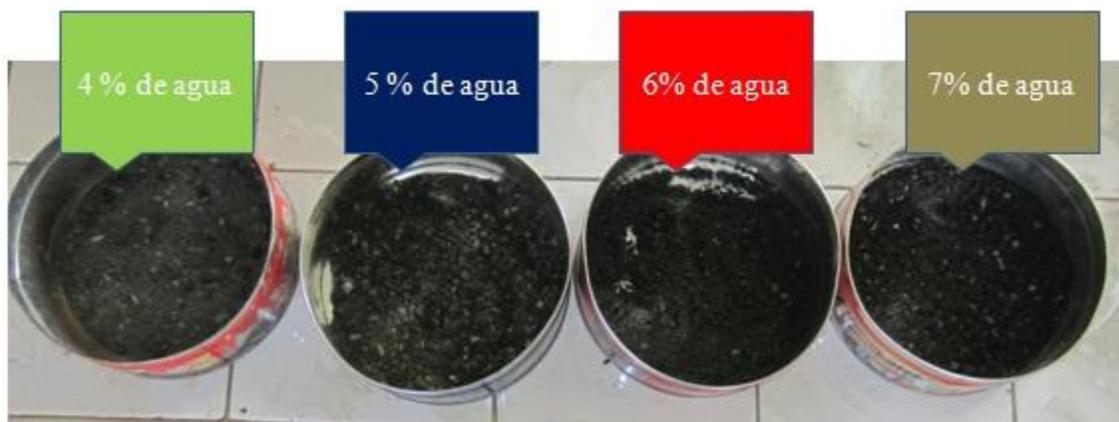


Figura 14 Contenido óptimo de agua del 6%



### 3.4.2 CANTIDAD APROXIMADA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA

La cantidad de emulsión asfáltica se estima para mezclas de densos agregados mediante la prueba CENTRÍFUGA DE QUEROSENO EQUIVALENTE (C.K.E).

Si el equipo C.K.E no está disponible, se puede hacer una aproximación del contenido de emulsión asfáltica mediante:

$$P = (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times (0.7)$$

Donde:

P = Porcentaje de cemento asfáltico respecto al peso de la mezcla

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N° 8

B = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 8 y se retiene en el tamiz N° 200

C = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200

### 3.4.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Luego de haber realizado el muestreo del incremento de agua para el mezclado óptimo en las muestras representativas de 200 gramos, se pudo observar que el contenido de agua óptimo y que mostraba una homogeneidad junto con los materiales y no se producían grumos era la cantidad de 6%, con la que se va a proceder para los 5000 gramos de material antes mencionados.

Se proceden a colocar los porcentajes respectivos a cada tamiz, ya antes mencionados en el diseño de la mezcla, ya que se va a escoger el mismo diseño de la muestra caliente para poder hacer las comparaciones respectivas.



**Figura 15 Colocación de los 5000 gr de material**

Se coloca el 6% de agua del peso total de 5000 gramos. Es decir 300 gramos de agua.



**Figura 16 Colocación 300 gr de agua**



Luego se coloca el 7% correspondiente al porcentaje de la Emulsión Asfáltica. 627 gramos de emulsión.



**Figura 17 Colocación de 627 gr de Emulsión**

Finalmente se procede a mezclar y compactar las briquetas.



**Figura 18 Mezclado de asfalto junto con los agregados**



#### 4.5 MEDICIÓN DE MÓDULOS EN EL NOTTINGHAM ASPHALT TESTER

Para la medición de módulos de la investigación, se utilizó la máquina que se encuentra en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, en el laboratorio de Asfalto, gracias a la colaboración del Director Ingeniero Rolando Vila.

Procedimiento del Ensayo:

1. Medir diámetro y altura de las briquetas que se van a ensayar.
2. Determinar su densidad realizando los pesos en seco, sumergido y superficialmente seco.
3. Colocar la briketa en el soporte del NAT.
4. Medir su módulo mediante la correcta utilización del software.



Figura 19 Nottingham Asphalt Tester (NAT)



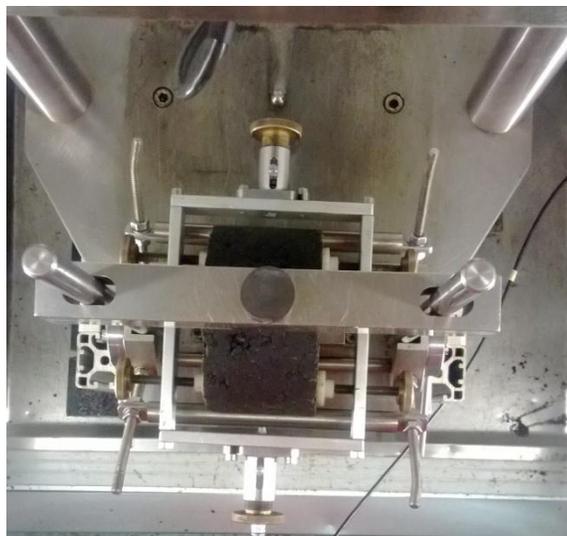
Figura 20 Control de Temperatura 20 grados



**Figura 21 Nottingham Asphalt Tester (NAT)**



**Figura 22 Densidad de la Briqueta (Gb)**



**Figura 23 Colocación de la briqueta**



**Figura 24 Medición del Módulo**

En la figura 24 se observa la cámara temporizada a 20 grados centígrados del Nottingham Asphalt Tester con la briqueta colocada en el collar y lista para su medición.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para la siguiente investigación se realizó el método cuantitativo experimental para analizar las briquetas en caliente y las briquetas con emulsión. Luego de haber realizado la medición de módulos resilientes en el Nottingham Asphalt Tester (NAT) tenemos:

Mezclas Calientes y Mezclas con Emulsión. Estas mezclas se prepararon el día 26 de noviembre del 2012. Se realizaron cuatro briquetas calientes a una energía de compactación de 50 golpes, cuatro briquetas con emulsión a una energía de compactación de 50 golpes.

La primera medición de módulos se la realizó el día 05 de diciembre del 2012, debido a que las mezclas con emulsión se encontraban en el proceso de secado. Este secado indica el momento en que las mezclas han llegado a un peso constante. En la tabla 3 se pueden observar los resultados.

		FECHAS EN LA QUE SE TOMARON LOS PESOS					
Briqueta	Número de Golpes	Método de Secado	28/11/2012	30/11/2012	03/12/2012	06/12/2012	10/12/2012
1	50	Horno 60 °	974	961	951.7	951.2	951
2		Horno 45 °	987	972	960.9	960.6	960
3		Ambiente	1014	1006	994.9	992.2	992
4		Ambiente	1010	1004	991.2	990.1	990

Día de la preparación	Cantidad de días posteriores a la preparación de las briquetas				
	1ra Medición	3er Medición	4ta Medición	5ta Medición	6ta Medición
26/11/2012	2	4	7	10	14

**Tabla 3 Registro de Secado de las briquetas con emulsión**



Se puede observar en la tabla 3 que las briquetas se han secado completamente (es decir han llegado a peso constante) entre los días 10 y 14, con esto realizado ya se procede a la respectiva medición de sus módulos resilientes y análisis de resultados.

#### 4.1 MÓDULOS RESILIENTES MEZCLAS CALIENTES

BRIQUETAS	FECHAS DE LAS MEDICIONES DE MODULOS RESILIENTES					
	05-dic-12	21-feb-13	01-mar-13	15-abr-13	04-jun-13	08-jul-13
	<b>MODULOS RESILIENTES MEDIDOS (MPA)</b>					
1	2695	5332	5553	5962	5301	5983
2	1514	3784	3921	4499	5157	5438
3	1869	3906	4477	4733	5301	5544
4	2096	4220	4715	4973	5761	5827
<b>Promedios</b>	2044	4311	4667	5042	5380	5698
<b>Desviación Estándar</b>	496.0	705.3	678.2	643.3	262.9	251.1
<b>%</b>	24.3	16.4	14.5	12.8	4.9	4.4

Día de la preparación	Cantidad de días posteriores a la preparación de las briquetas					
	1ra Medición	2da Medición	3ra Medición	4ta Medición	5ta Medición	6ta Medición
26/11/2012	9	87	95	140	190	224

**Tabla 4 Medición de Módulos en mezclas calientes durante 8 meses**



En la tabla 4 se observa que se ha completado la medición de módulos durante 8 meses, todo este proceso ha sido necesario para observar el comportamiento de las mezclas con el paso del tiempo.

Se puede observar que estas mezclas se han rigidizado cada vez más entrando en un proceso llamado de envejecimiento, es decir han ganado módulo con el paso del tiempo.

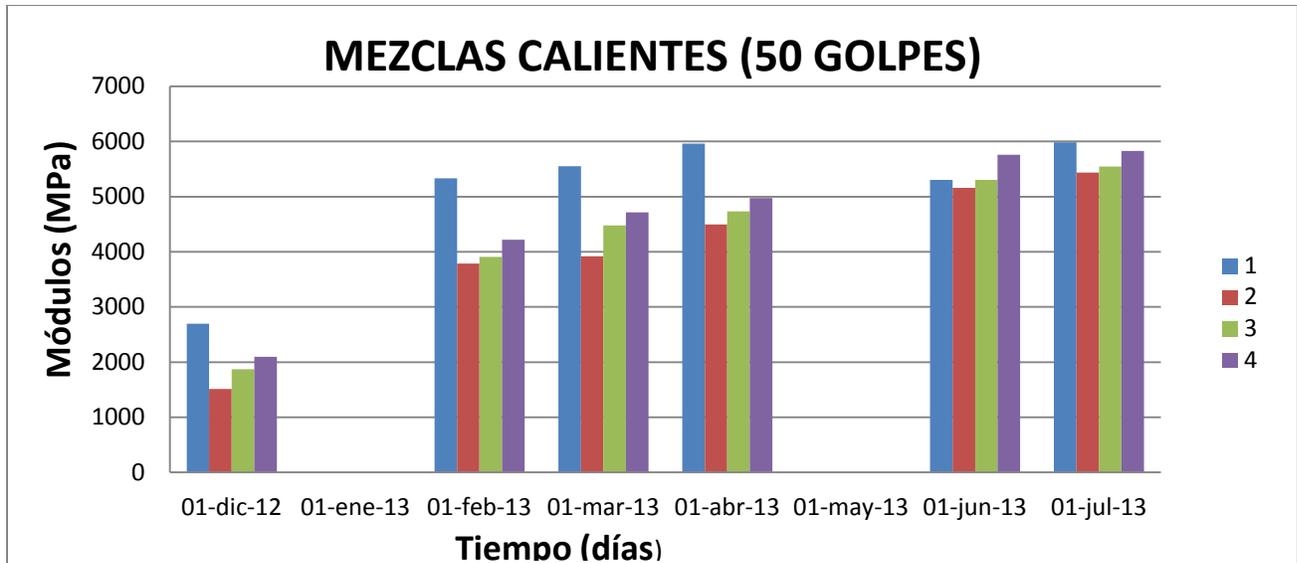


Figura 25 Diagrama de Barras, valores de Módulos Resilientes

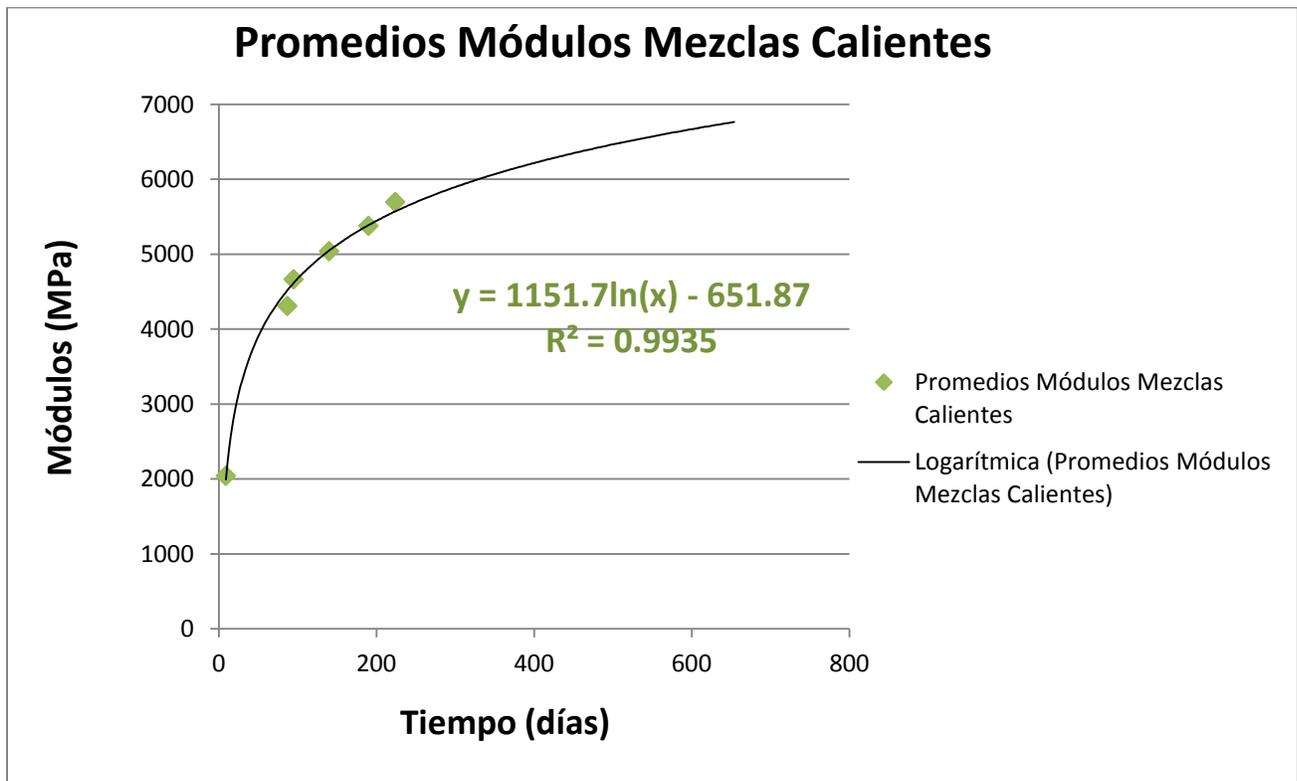


Figura 26 Ecuación Logarítmica Promedios de Módulos Resilientes



En el gráfico 26 se puede observar la ecuación de la función logarítmica con su coeficiente de determinación  $R^2$  (R cuadrado) igual a 0,9935.

La información siguiente se la obtuvo de la página virtual

( <http://www.padowan.dk/doc/spanish/InsertTrendlineDialog.html> )

El coeficiente de determinación cuantifica la proporción de la variación de la variable dependiente respecto a la variable independiente, es decir, en qué grado la línea de tendencia se ajusta a los datos. Puede adoptar valores entre 0 y 1. Si  $R^2=1$ , entre la línea de regresión y los puntos insertados hay una correspondencia perfecta. Sin embargo, cuanto más se aleje  $R^2$  de ese valor ideal tanto más frágil será el ajuste realizado.\*



## 4.2 MÓDULOS RESILIENTES MEZCLAS CON EMULSIÓN

Energía de compactación: 50 Golpes

BRIQUETA	FECHAS DE LAS MEDICIONES DE MÓDULOS RESILIENTES					
	10-dic-12	21-feb-13	01-mar-13	15-abr-13	04-jun-13	08-jul-13
	<b>MODULOS RESILIENTES MEDIDOS (MPA)</b>					
1	1228	2670	2834	2789	2896	3048
2	1364	3205	2990	3071	3290	3291
3	1428	3320	3168	3248	3375	3462
4	1470	3466	3522	3474	3356	3652
<b>Promedios</b>	1373	3165	3129	3146	3229	3363
<b>Desviación Estándar</b>	105.7	347.0	295.7	289.3	225.1	256.7
<b>%</b>	7.7	11.0	9.5	9.2	7.0	7.6

Día de la preparación	Cantidad de días posteriores a la preparación de las briquetas					
	1ra Medición	2da Medición	3ra Medición	4ta Medición	5ta Medición	6ta Medición
26/11/2012	14	87	95	140	190	224

**Tabla 5 Medición de módulos en mezclas con emulsión durante 8 meses.**

En la tabla 5 podemos observar que la primera medición de módulos fue a los 14 días, ya que el proceso de secado se había completado.

Además se observa que al cabo de 2 meses, en el mes de Febrero ya habían alcanzado un valor de módulos aceptables cerca del rango de los 3000MPA a excepción de la briqueta 1.

A medida que pasaron los meses estas mezclas emulsificadas aumentaron sus módulos pero en proporciones pequeñas en relación a las mezclas calientes equivalentes.

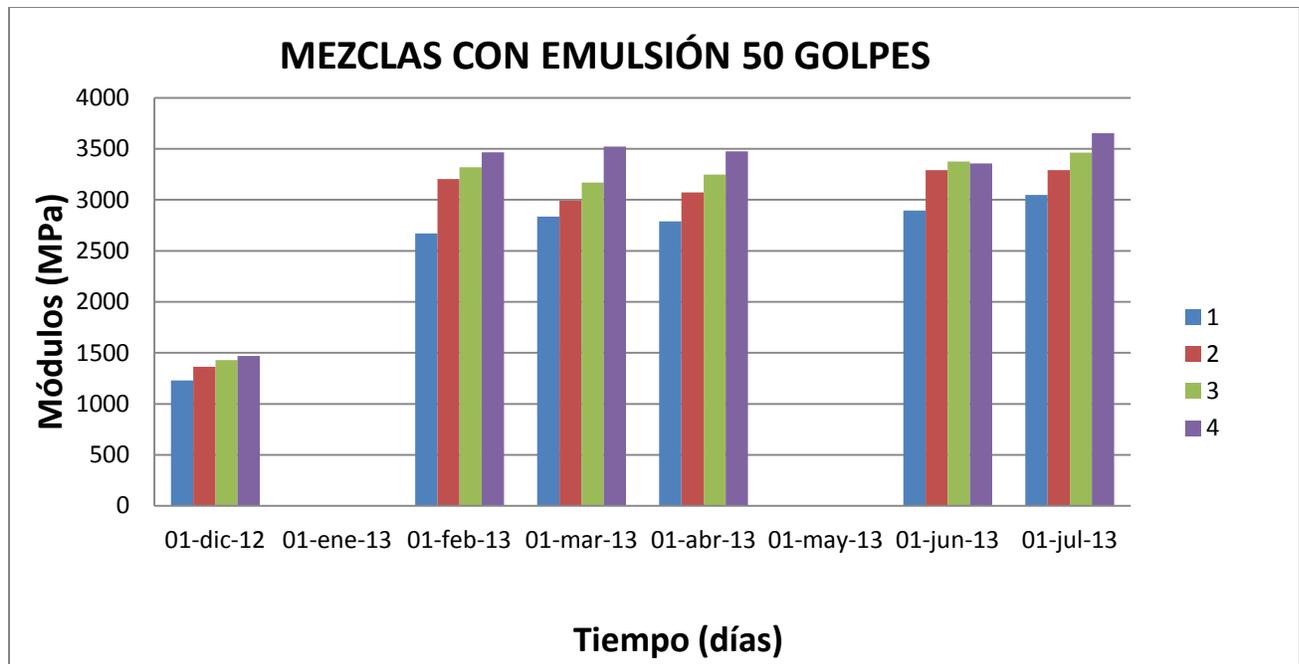


Figura 27 Diagrama de Barras de Módulos Resilientes mezclas con emulsión

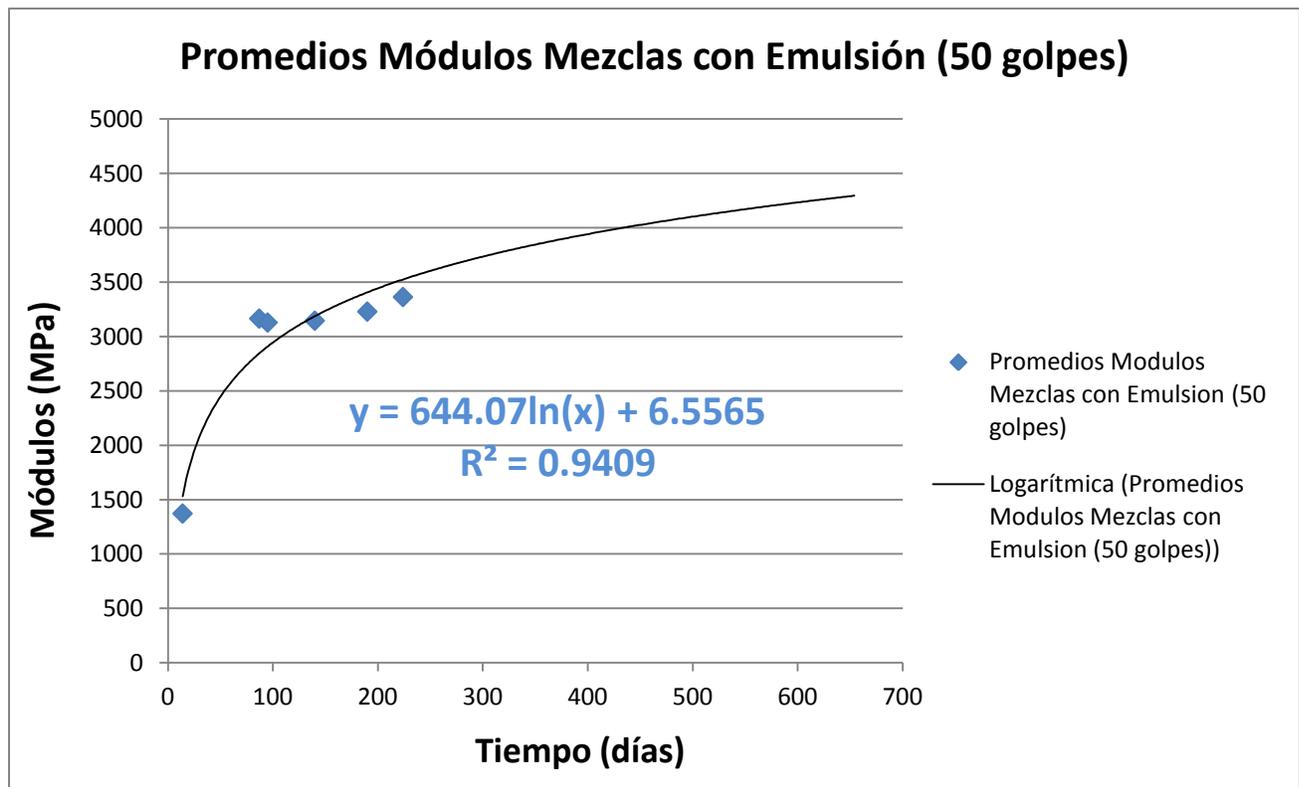


Figura 28 Ecuación Logarítmica Promedios de Módulos Resilientes.



### 4.3 ENSAYOS DE FATIGA

El ensayo de tracción indirecta es realizado para la determinación de la resistencia máxima a la tracción, máxima deformación y características de rotura.

Para una interpretación más detallada de resultados y de análisis en la investigación se realizaron los ensayos de fatiga a las mezclas calientes y a las mezclas con emulsión a una energía de compactación de 50 golpes.

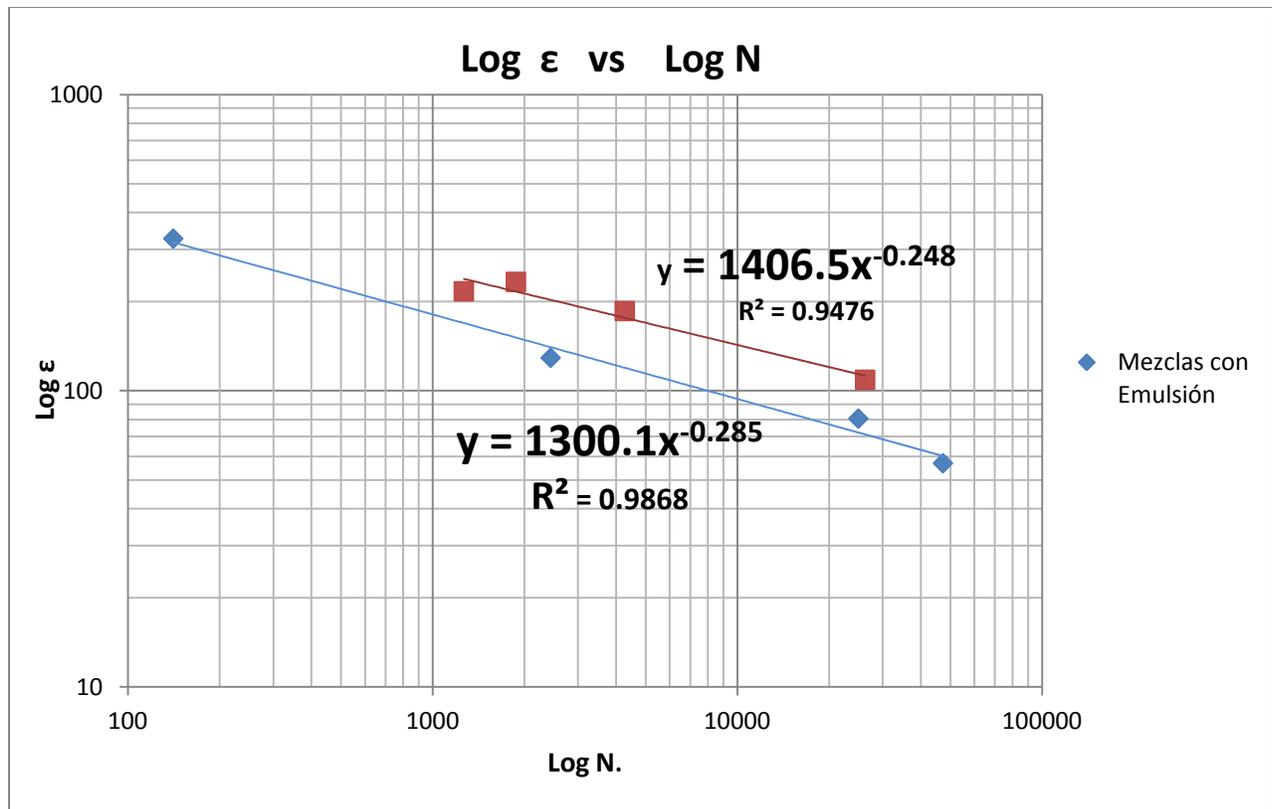
A continuación se muestran los resultados:

Briqueta	Energía de Compactación	Esfuerzo Horizontal (KPA)	Módulo (MPA)	Número de Repeticiones	Deformación Calculada ( $\times 10^{-6}$ )
1	50	100	3603	47330	57
2		150	3819	24973	81
3		200	3174	2442	129
4		300	1885	141	326

**Tabla 6 Ensayo de fatiga briquetas con emulsión**

Briqueta	Energía de Compactación	Esfuerzo Horizontal (KPA)	Módulo (MPA)	Número de repeticiones	Deformación Calculada
1	50	300	5647	26286	109
2		400	4413	4275	186
3		500	4398	1878	233
4		600	5679	1267	217

**Tabla 7 Ensayo de fatiga briquetas calientes**

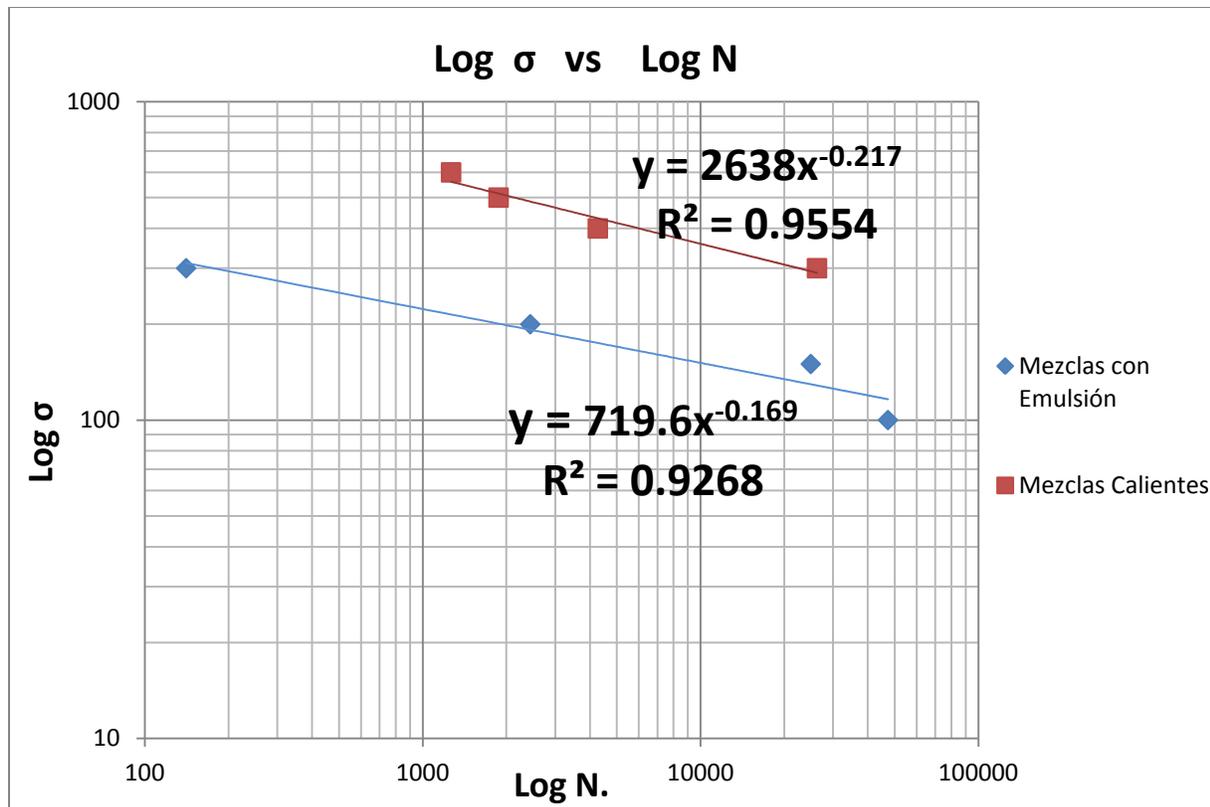


**Figura 29 Representación gráfica Log ε vs Log N**

ε= Deformación Unitaria Calculada

N= Número de repeticiones de carga

De la figura 29 se puede observar que las dos funciones tienen un coeficiente de determinación cercano a 1. También podemos observar que a menor número de repeticiones o pasadas las curvas no se van a topar ya que si reemplazamos un valor cualquiera, tomando 1 como el valor de la abscisa en "x" tenemos que siempre la mezcla caliente soportaría más deformación que la mezcla con emulsión.



**Figura 30 Representación gráfica Log  $\sigma$  vs Log N**

En la figura 30 podemos observar el esfuerzo horizontal versus el número de repeticiones. El hecho de que el exponente en la curva de la emulsión tenga un valor absoluto más bajo que el de la curva caliente nos hace ver que en algún punto estas dos curvas se deben interceptar lo que se dará para un valor N de  $5.67421E+11$  y un valor  $\sigma$  de 7.

Debido al envejecimiento y rigidización de las mezclas calientes se puede observar que soportan más esfuerzo que las mezclas con emulsión por lo tanto sus módulos resilientes son mayores.

Se puede aclarar que estas mezclas con emulsión han llegado a rangos de módulos superiores a 3000MPA que aplicables al medio con que se trabaja es un valor aceptable.



## CAPÍTULO V COMPOSICIÓN DE BRIQUETAS

Para conocer la composición de las briquetas, se necesita realizar una extracción de asfalto con el que determinamos el contenido de asfalto usado y posteriormente una granulometría para comparar con la granulometría original.

Luego del ensayo a fatiga las muestras quedan “destruidas”, ya que este ensayo es permanente y las briquetas se rompen a lo largo de su plano diametral por lo cual antes de realizar la extracción y la granulometría se obtuvo otro parámetro para el análisis que es la Densidad Teórica Máxima Gmm o RICE. Este valor obtenido en el RICE es necesario para determinar los vacíos de las briquetas.

### 5.1 DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA GMM

Para obtener el RICE se escogió entre las 4 briquetas destruidas la porción de 1000 gramos de material que es representativa y sirve para proceder al ensayo.

Briquetas	A	B	C	RICE
	P.frasco + Agua	Frasco + Agua + Material	Peso mezcla Suelta	
1	3094	3638	1000	2.193
2				
3				
4				

**Tabla 8 Densidad Teórica Máxima de las mezclas calientes**

Briquetas	A	B	C	RICE
	P.frasco + Agua	Frasco + Agua + Material	Peso mezcla Suelta	
1	3094	3634	1000	2.174
2				
3				
4				

**Tabla 9 Densidad Teórica Máxima de las mezclas con emulsión**



Luego de haber determinado la densidad teórica máxima y ya que no se pierde ninguna cantidad de material se procede a realizar la extracción de asfalto, en todo caso se pesa el material para confirmar el peso de los 1000 gramos usados para el ensayo RICE.

## 5.2 EXTRACCIÓN DE ASFALTO

Mezclas calientes Método Marshall

Muestra Núcleo	ANTES		DESPUES		Diferencia (filtros)	W4 Volumen de disolvente empleado (litros)	Gramos de polvo x litro de solvente	Gramos de polvo	% de ASFALTO
	W1	Peso de Filtro	W2	Peso de Filtro					
1	1000	9.2	925.4	10.8	1.6	3.5	0.8571	3.000	7.00
2									
3									
4									

**Tabla 10 Extracción de Asfalto en las mezclas calientes**

Para obtener el porcentaje de asfalto de las muestras se debe escoger el peso inicial W1 de 1000 gramos y restarle los pesos obtenidos después de la extracción el peso del polvo que quedo en los filtros y los gramos de polvo por litro de solvente.

Para esta extracción se usaron 3500 cc de disolvente (gasolina), la norma STANDARD especifica un factor para obtener el peso en gramos de polvo por litro de solvente pero este factor es determinado para el disolvente llamado tetracloruro de carbono el cual está prohibido debido a sus altas concentraciones venenosas.



En esta investigación por cuanto los pesos de los componentes fueron medidos minuciosamente hemos ajustado el valor del factor de polvo por litro de solvente de manera que el porcentaje medido en la extracción resulte igual al porcentaje pesado en la elaboración de las muestras.

De esta manera determinamos un factor de 0.8571 gramos de polvo por litro de solvente (gasolina) empleado, siendo el factor tradicionalmente usado de 1 gramo de polvo por litro de solvente.

Mezclas con Emulsión Método Illinois.

Muestra Núcleo	ANTES		DESPUES		Diferencia (filtros)	W4 Volumen de disolvente empleado (litros)	Gramos de polvo x litro de solvente	Gramos de polvo	% de ASFALTO
	W1	Peso de Filtro	W2	Peso de Filtro					
1	1000	9.0	931	11.0	2.0	3.5	0.8571	3.0	<b>6.40</b>
2									
3									
4									

**Tabla 11 Extracción de asfalto mezcla con emulsión**

Con el factor antes calculado podemos aplicarlo en la fórmula para obtener el porcentaje de asfalto de las mezclas con emulsión.

Se puede observar que el porcentaje de asfalto es de 6.40 esta variación de asfalto en relación al inicial usado de 7% tiene explicación ya que en este caso no se usó asfalto sino emulsión y puede haber una variación en la cantidad contenida de asfalto originalmente en la emulsión. En el laboratorio se estimó un 60% de contenido de asfalto en la emulsión.



### 7.3 GRANULOMETRÍA

Mezclas Calientes Método Marshall

Tamices	Granulometría Obtenida				Granulometría Original			
	Peso Acumulado	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante Acumulado	% Retenido	%Retenido Acumulado	Pasante Acumulado	Diferencia entre obtenido y original
3/4"	0		0.00	100.00	0	0	100	0.00
1/2"	96		10.00	90.00	10	10	90	0.00
3/8"	189		20.00	80.00	10	20	80	0.00
N 4	326		35.00	65.00	13.5	33.5	66.5	1.50
N 8	479		51.00	49.00	16.5	50	50	1.00
N 16	616		66.00	34.00	14	64	36	2.00
N 30	687		74.00	26.00	10.5	74.5	25.5	-0.50
N 50	802		86.00	14.00	9.5	84	16	2.00
N 100	860		92.00	8.00	8	92	8	0.00
N 200	890		96.00	4.00	2	94	6	2.00
Pasante 200	40		4.00		6	100	0	
TOTAL :	930							

**Tabla 12 Ensayo de Granulometría mezclas calientes**



Este total de 930 gramos equivale a la suma de los pesos de material luego de la extracción, las partículas retenidas en el filtro y los gramos de polvo por litro de solvente.

Al obtener las diferencias entre la granulometría obtenida y la granulometría original se observa que son parecidas y no hay mucha variación.

Mezclas con Emulsión Método Illinois.

Tamices	Granulometría Obtenida			Granulometría Original			Diferencia entre obtenido y original
	Peso Acumulado	% Retenido acumulado	% Pasante Acumulado	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	
3/4"	0	0.00	100.00	0	0	100	0.00
1/2"	100	11.00	89.00	10	10	90	1.00
3/8"	196	21.00	79.00	10	20	80	1.00
N 4	319	34.00	66.00	13.5	33.5	66.5	0.50
N 8	470	50.00	50.00	16.5	50	50	0.00
N 16	606	65.00	35.00	14	64	36	1.00
N 30	675	72.00	28.00	10.5	74.5	25.5	-2.50
N 50	787	84.00	16.00	9.5	84	16	0.00
N 100	844	90.00	10.00	8	92	8	-2.00
N 200	892	95.00	5.00	2	94	6	1.00
Pasante 200	44.5	5.00		6	100	0	
TOTAL :	936.5						

**Tabla 13 Ensayo granulométrico mezclas con emulsión**

Este total de 936.5 gramos equivale a la suma de los pesos de material luego de la extracción, las partículas retenidas en el filtro y los gramos de polvo por litro de solvente.



Al obtener las diferencias entre la granulometría obtenida y la granulometría original se observa que no hay mucha variación y se consideran aceptables para la investigación.

#### 5.4 RESUMEN DE DENSIDADES, PORCENTAJE DE VACÍOS, DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA Y EXTRACCIÓN DE ASFALTO

A continuación se presentan las tablas de resúmenes con los cuales se podrá determinar las conclusiones de la investigación y además observar los datos más importantes que se obtuvieron a partir del ensayo de Densidad Teórica Máxima, con este ensayo y la densidad (masa) se pudo obtener el porcentaje de vacíos de cada briqueta.

Briqueta	Diámetro	Altura	Peso	Peso	Peso	Vol.	Densidad	RICE	Vacíos	% DE ASFALTO
			aire	agua	s.s.s	cc.	masa	Max teór.	%	
1	10.3	6.1	1094	563	1098	535	2.045	2.193	6.75	7.00
2	10.3	6.3	1094	561	1087	526	2.080		5.16	
3	10.3	6.4	1128	579	1132	553	2.040		6.99	
4	10.3	6.5	1140	585	1144	559	2.039		7.01	

<b>PROMEDIO</b>		6.31					2.051		6.48	
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>		0.166					0.019		0.886	
<b>% VARIABILIDAD</b>		2.64%					0.95%		13.67%	
<b>LÍMITE ALTO (2σ)</b>		6.64					2.090		8.25	
<b>LÍMITE BAJO (2σ)</b>		5.97					2.012		4.71	
<b>Número de muestras</b>		4					4		4	

**Tabla 14 Resumen briquetas preparadas en caliente**



Briqueta	Diámetro	Altura	Peso	Peso	Peso	Vol	Densidad	RICE	Vacios	% DE ASFALTO
			aire	agua	s.s.s	cc.	masa	Max teór.	%	
1	10.3	6.1	951	481	956	475	2.002	2.174	7.90	6.40
2	10.3	6.3	960	488	967	479	2.004		7.81	
3	10.3	6.4	992	501	997	496	2.000		8.00	
4	10.3	6.5	990	500	994	494	2.004		7.81	

PROMEDIO		6.31					2.003		7.88	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0.166					0.002		0.090	
% VARIABILIDAD		2.64%					0.10%		1.15%	
LÍMITE ALTO (2σ)		6.64					2.007		8.06	
LÍMITE BAJO (2σ)		5.97					1.999		7.70	
Número de muestras		4					4		4	

**Tabla 15 Resumen briquetas preparadas en frío**



## CONCLUSIONES

Se ha verificado que las mezclas con emulsión cuando son efectuadas con los mismos áridos, granulometrías y contenidos de asfaltos similares a los de las mezclas calientes producen módulos resilientes y ecuaciones de fatigas parecidas aunque ligeramente inferiores.

Un punto importante a considerar es que los vacíos en las mezclas con emulsión resultan ligeramente superiores a los de las mezclas calientes (en este estudio resultaron de 8% versus 7% en las mezclas calientes) lo que puede explicar su desempeño ligeramente inferior.

Hemos visto también que los vacíos de las mezclas con emulsión van disminuyendo a medida que va perdiendo humedad y que en condiciones de curado al ambiente a partir de los 10 días tenemos especímenes libres de humedad por lo que recomendaríamos el curado en laboratorio por 14 días como método seguro para evaluación de propiedades.

Comparando con el curado en horno a 60 grados centígrados y a 45 grados centígrados observamos que las muestras están básicamente secas a los 8 días por lo que también se pueden usar estas metodologías aunque no se gana mucho respecto al curado a temperatura ambiente.

La recomendación de algunos estudios de curar 48 horas a 60 grados parece que no es muy segura en cuanto al secado completo de la muestra.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASFALCA Asfaltos de Centro América  
[http://www.asfalca.com/joom02/index.php?option=com\\_content&view=article&id=119:mezclas-asfalticas-en-frio-maf&catid=9&Itemid=129](http://www.asfalca.com/joom02/index.php?option=com_content&view=article&id=119:mezclas-asfalticas-en-frio-maf&catid=9&Itemid=129)
2. Fórmula comparada con el libro: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. Second Edition.

National Center for Asphalt Technology. NCAT.

Internet: <http://libro-pavimentos.blogspot.com/2012/03/modulo-resiliente-diametral.html>

3. Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. Manual Series No. 19

Asphalt Emulsion Manufacturers Association.

4. Mix Design Methods for Asphalt Concrete and other Hot mix Types. MS-2 Sixth Edition. ASPHALT INSTITUTE
5. Pavimentos Bituminosos en Frío. J.A. Fernández del Campo
6. Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No. 22 (MS-22) ASPHALT INSTITUTE.
7. Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1) Ninth Edition.

Research Report No. 82-2 August 1982

8. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Instituto Mexicano del Transporte. Mecánica de Materiales para pavimentos. Publicación Técnica No. 197, Santanfadila Qro 2002.



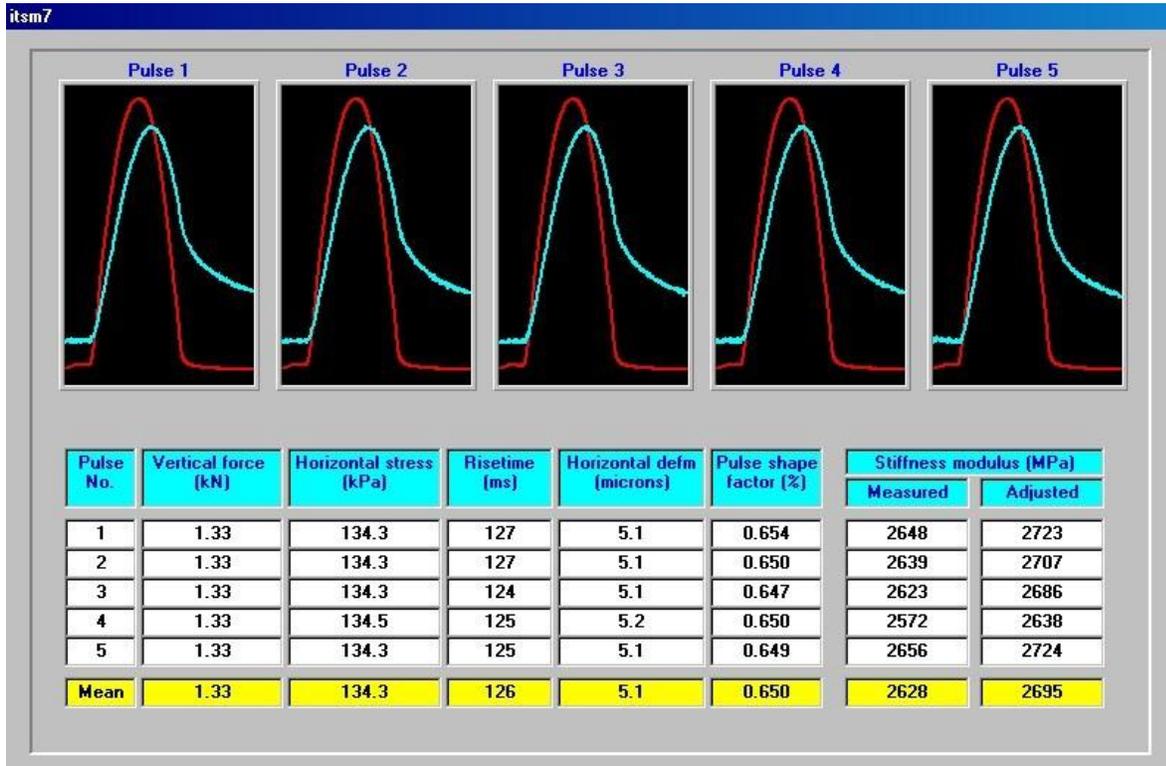
# ANEXOS



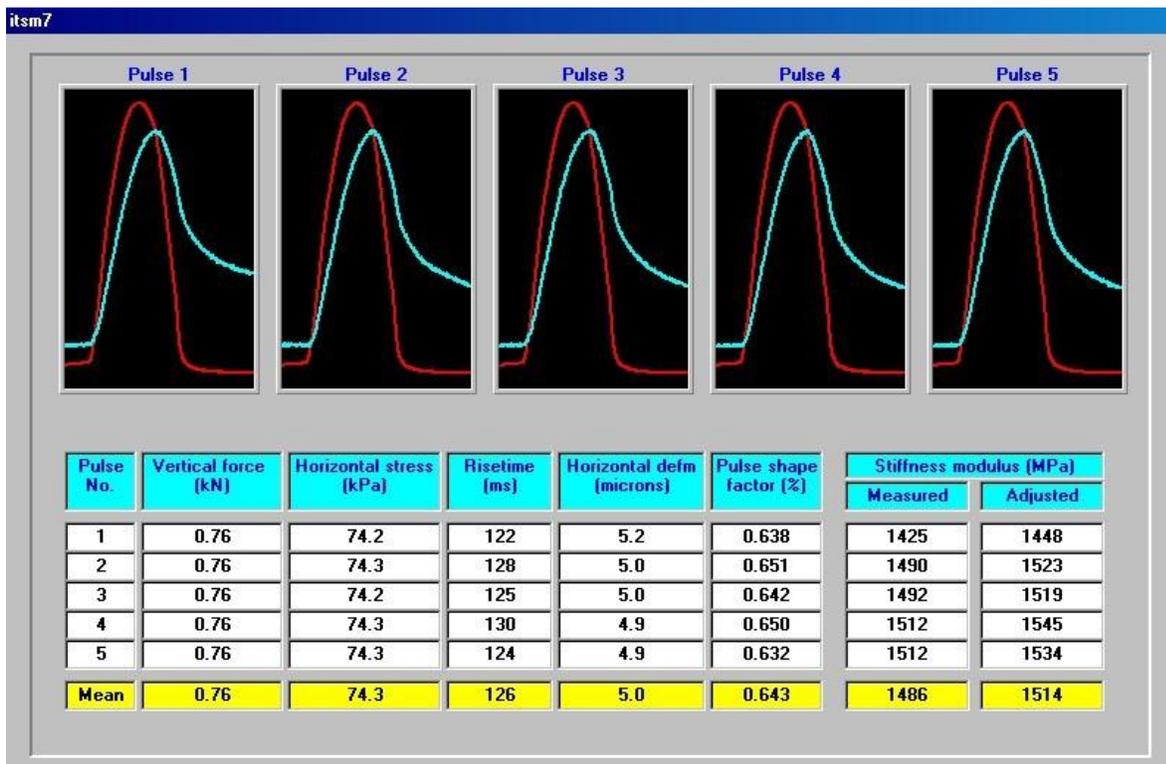
MODULOS MEZCLAS CALIENTES

Fecha: 5 diciembre del 2012

MD01T20

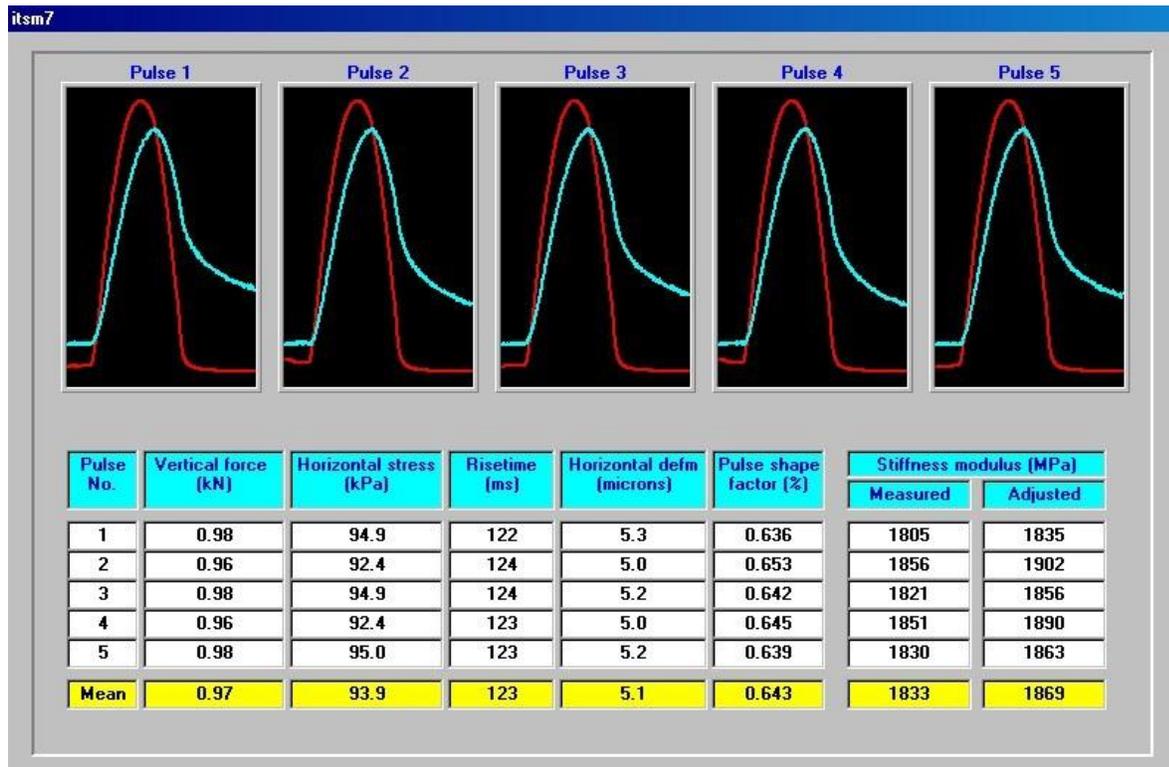


MD02T20

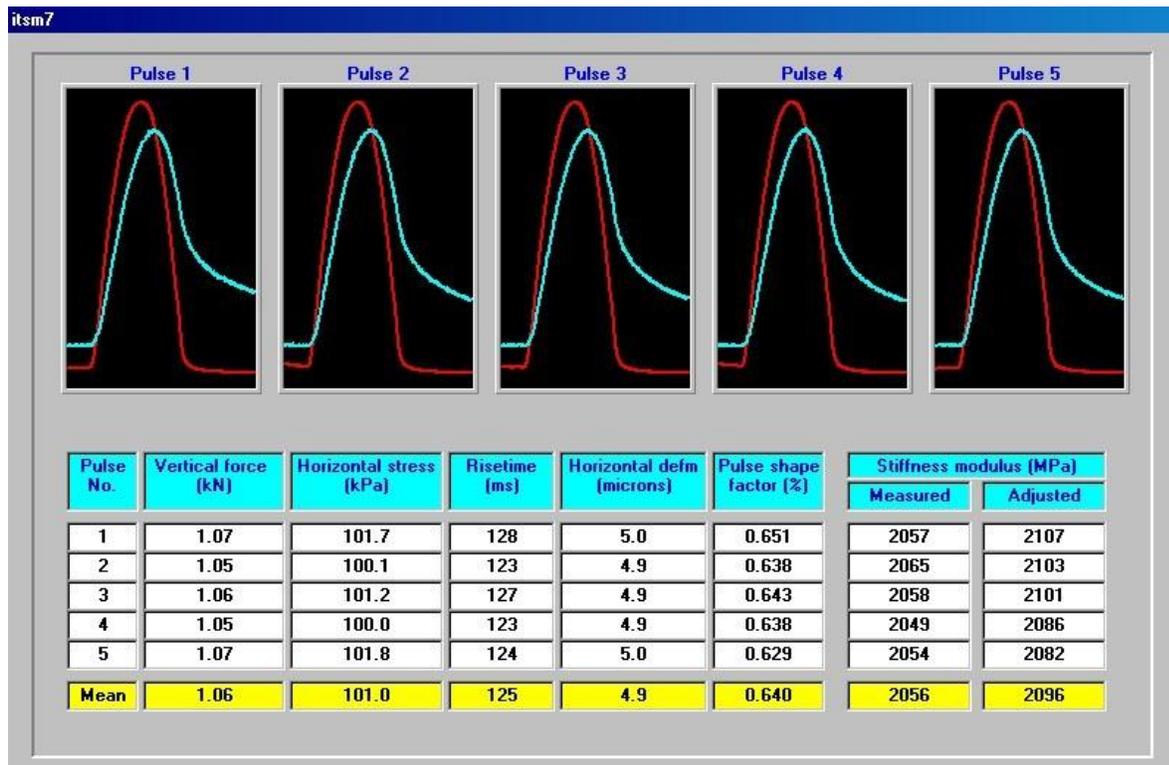




MD03T20



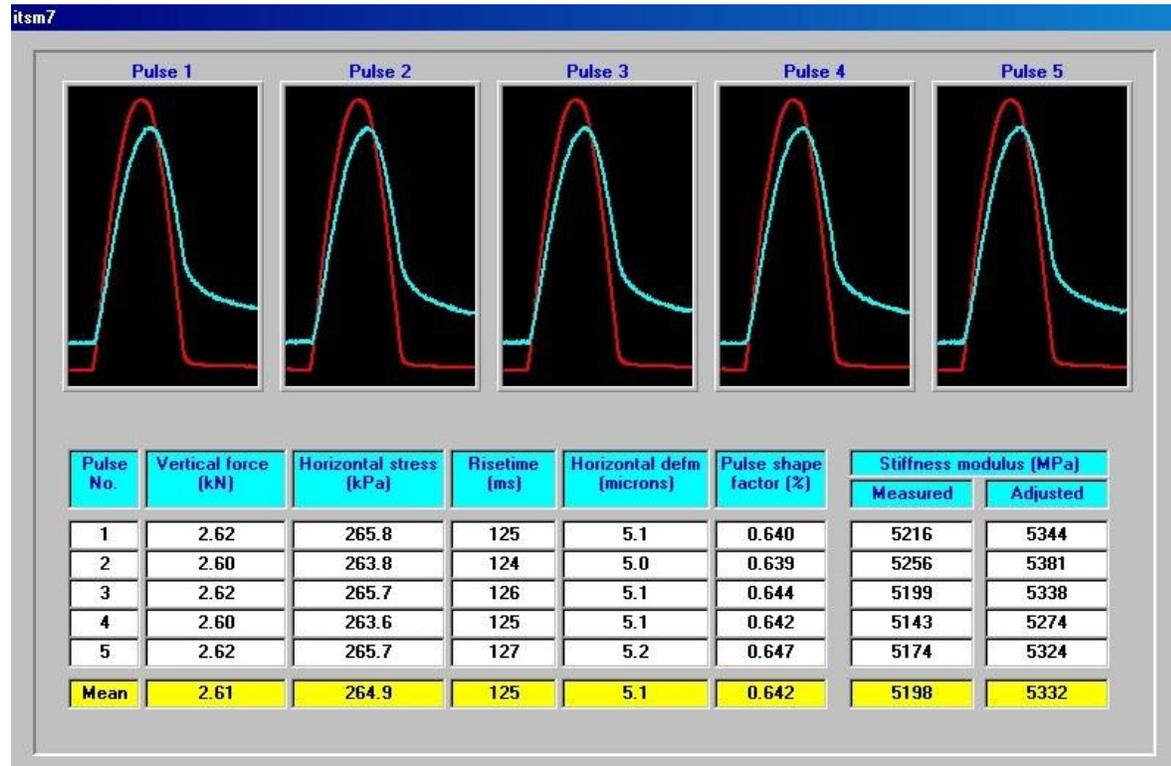
MD04T20



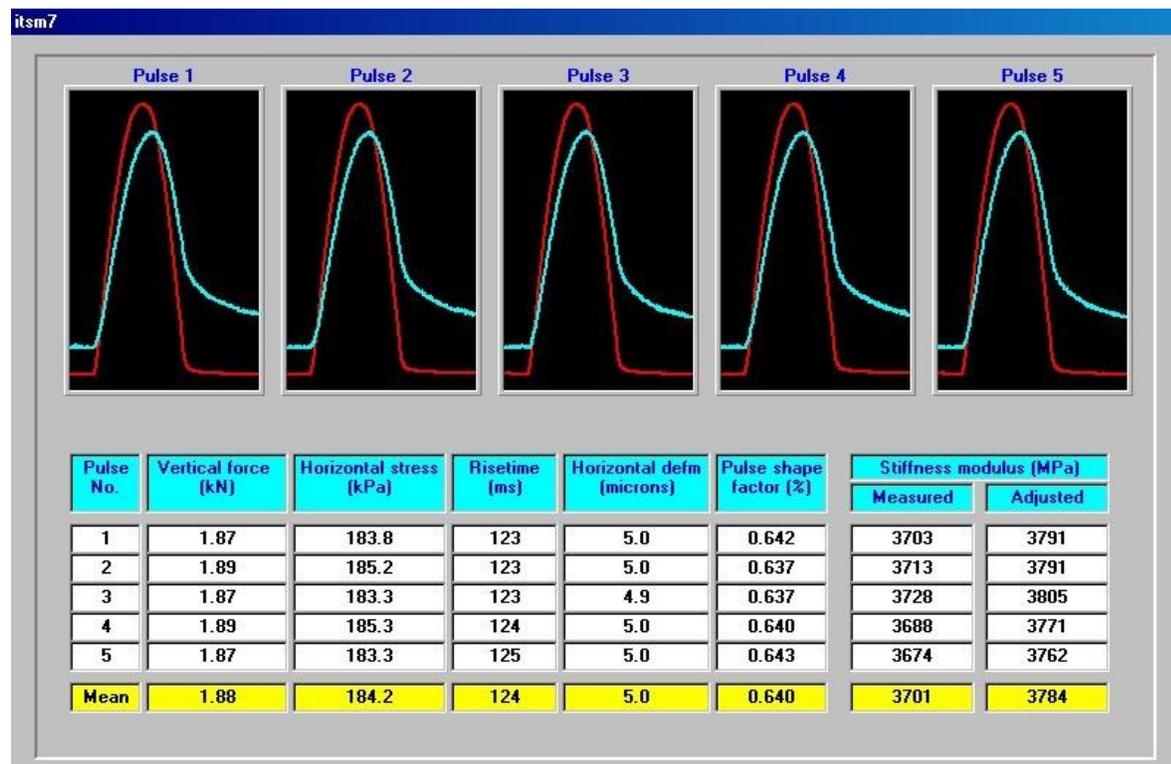


Fecha: 21 de febrero del 2013

MD01T20

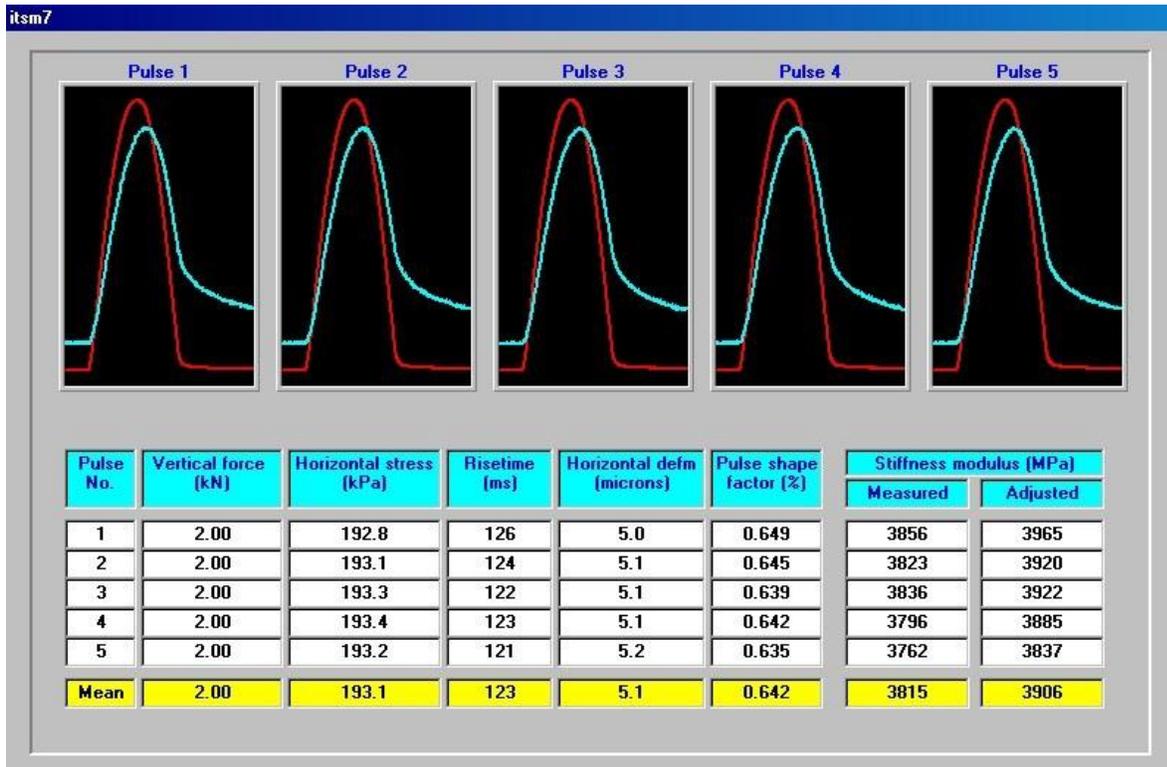


MD02T20

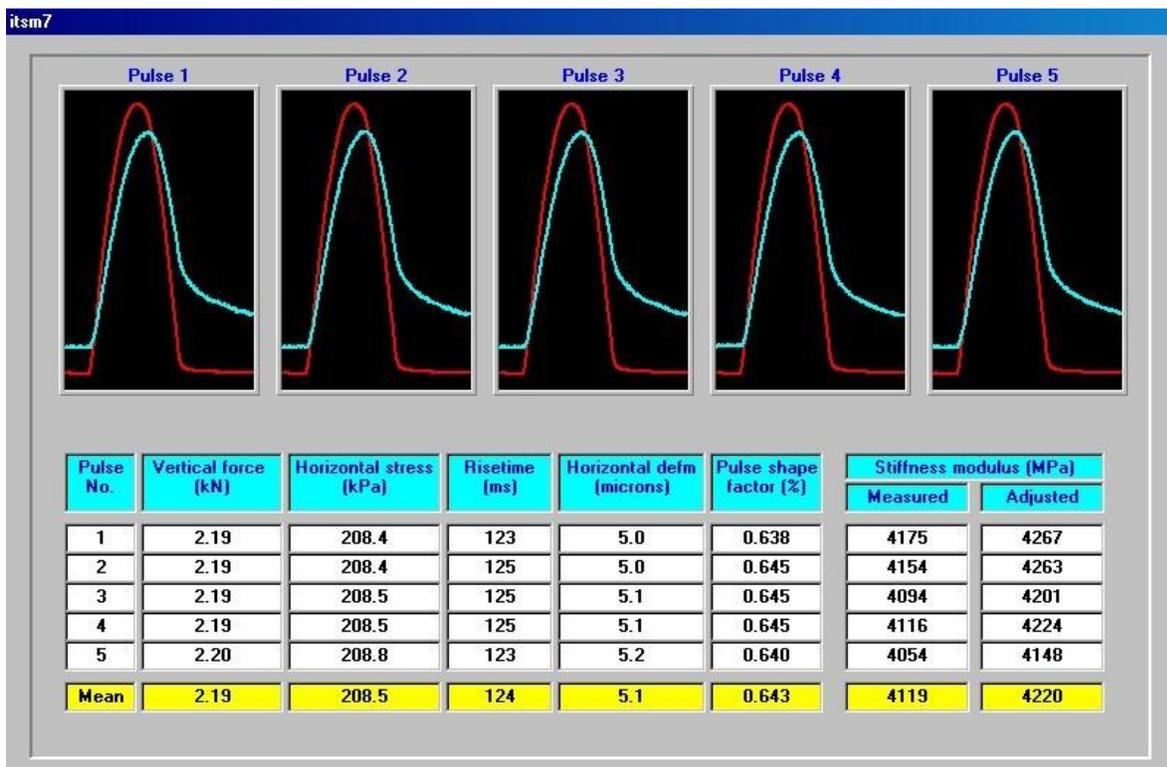




MD03T20



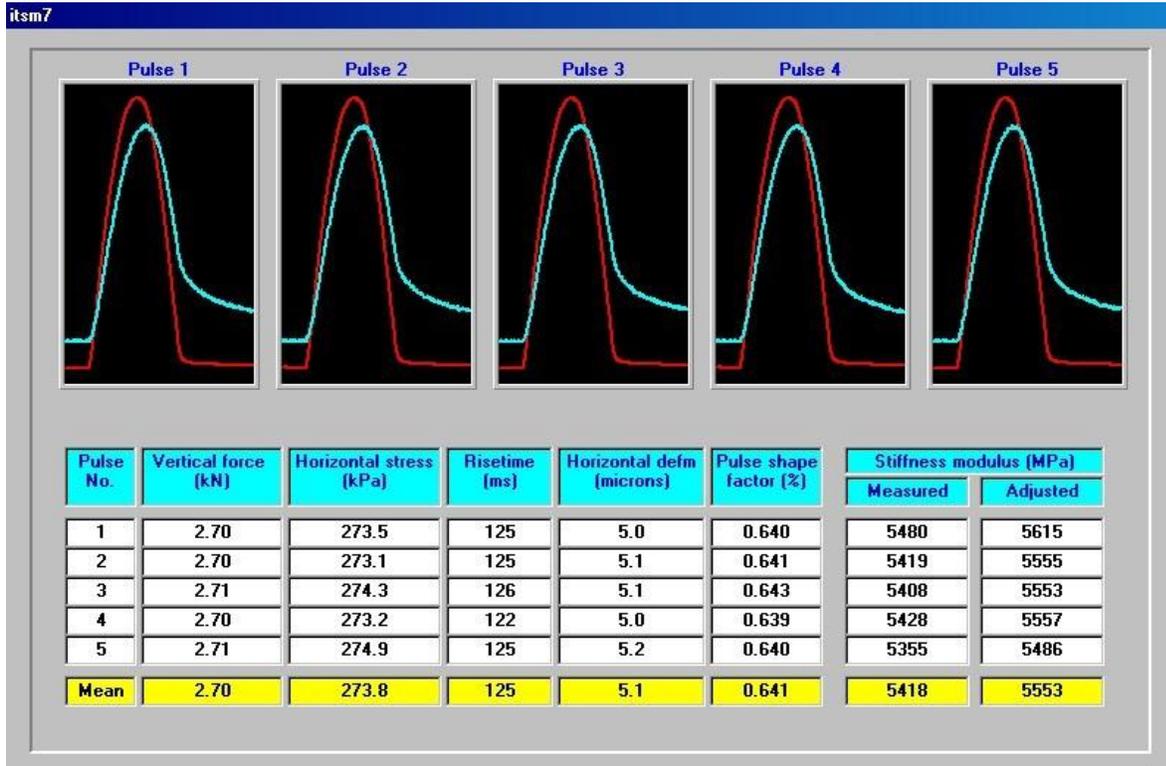
MD04T20



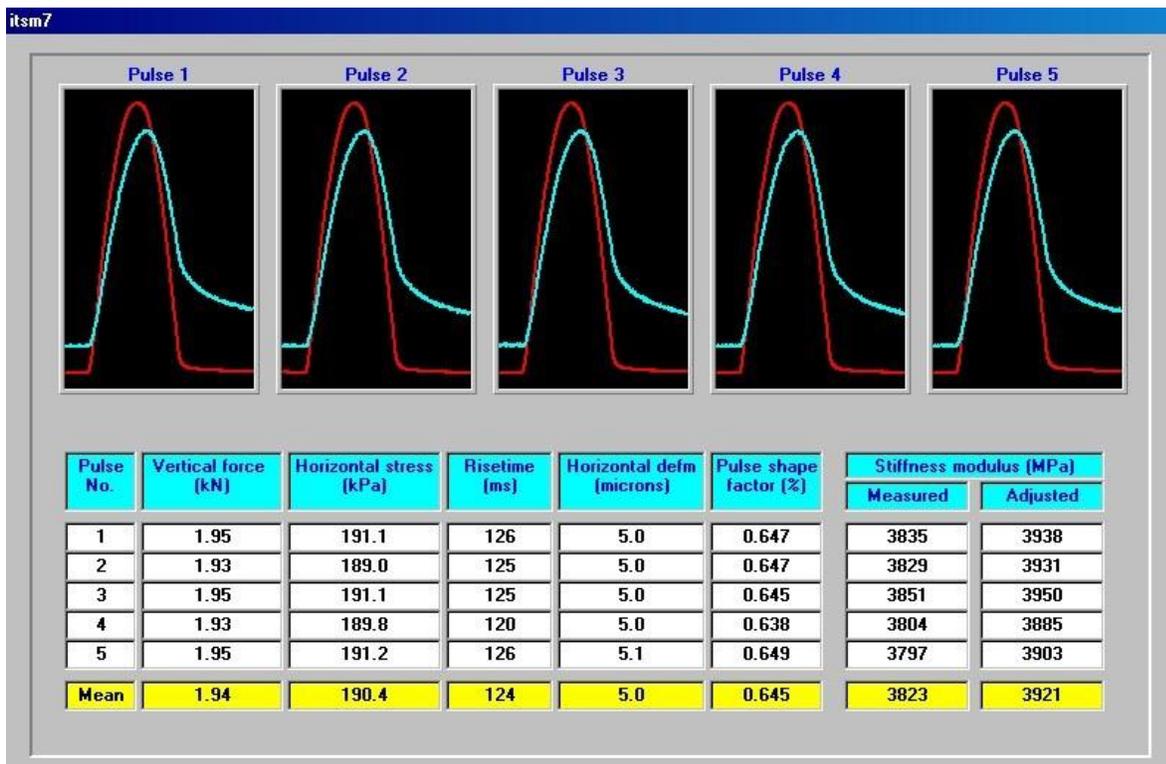


Fecha: 01 de marzo del 2013

MD01T20

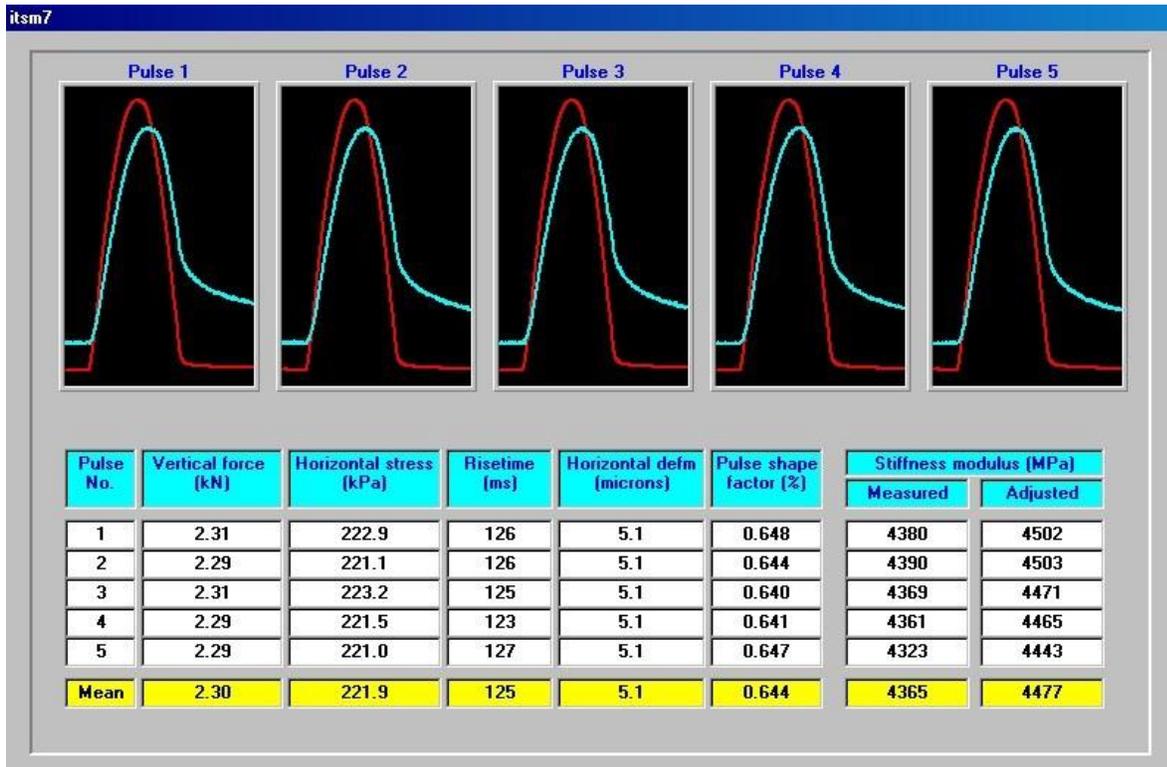


MD02T20

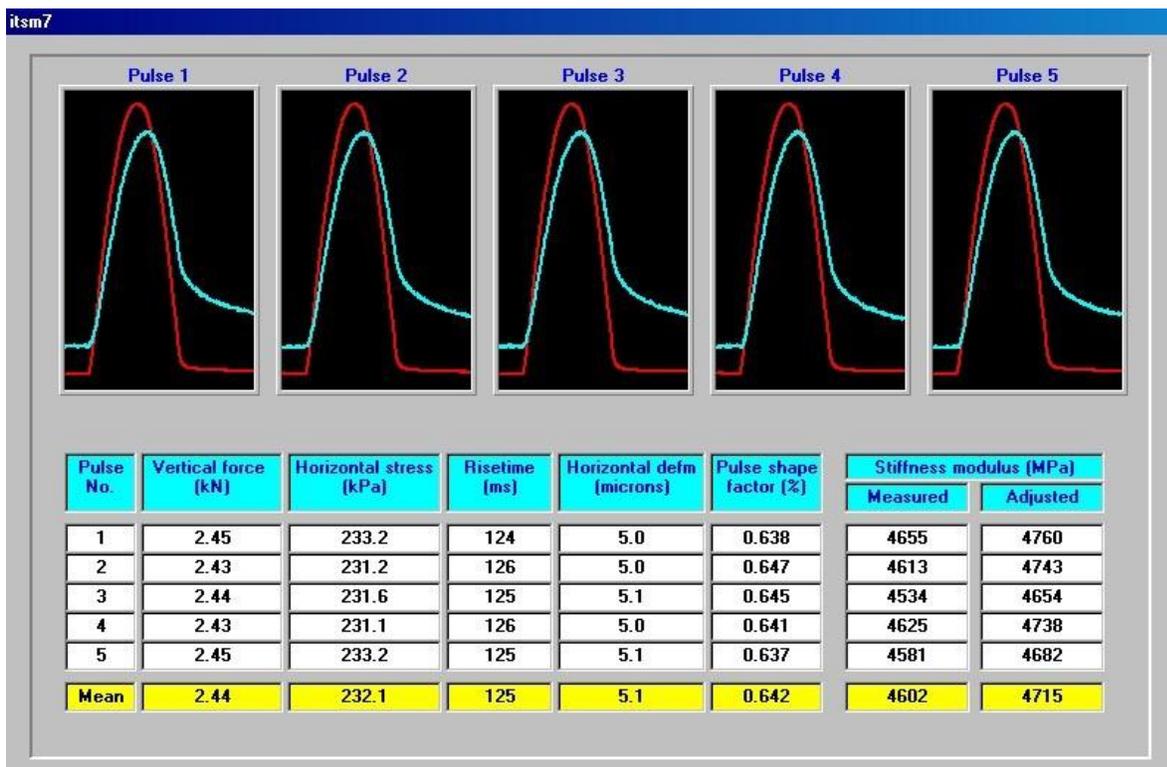




MD03T20



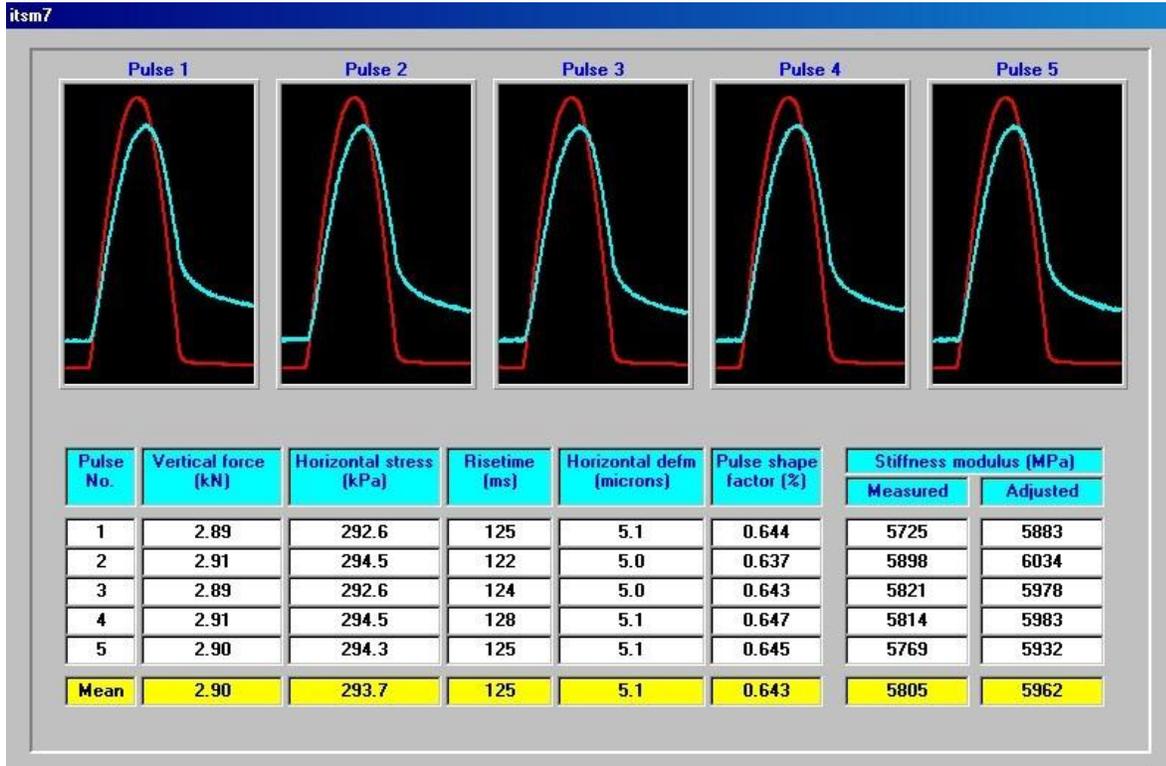
MD04T20



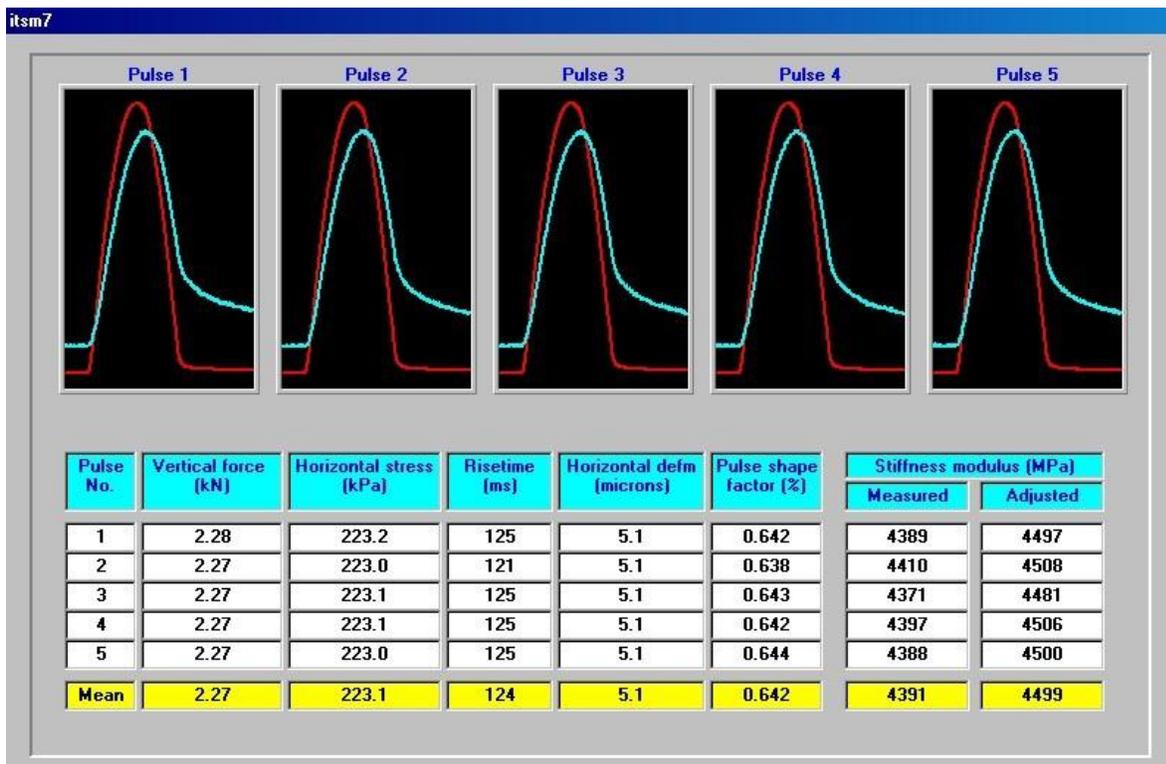


Fecha: 15 de abril 2013

MD01T20

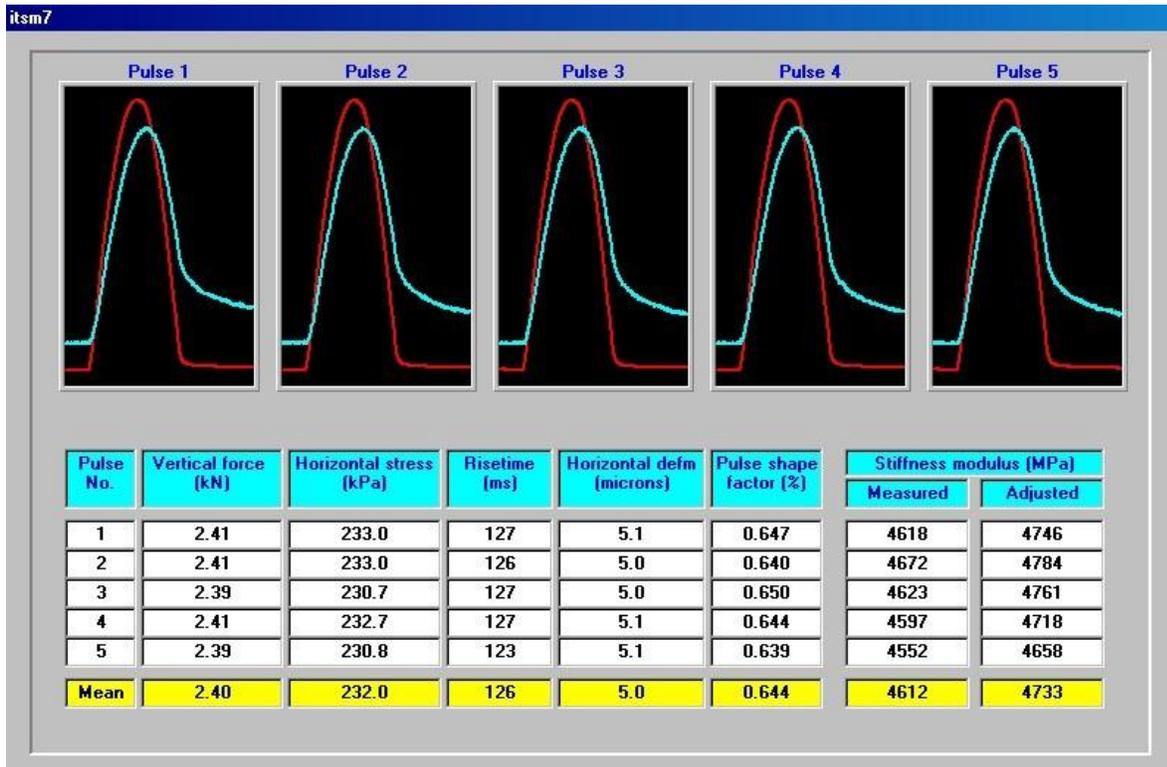


MD02T20

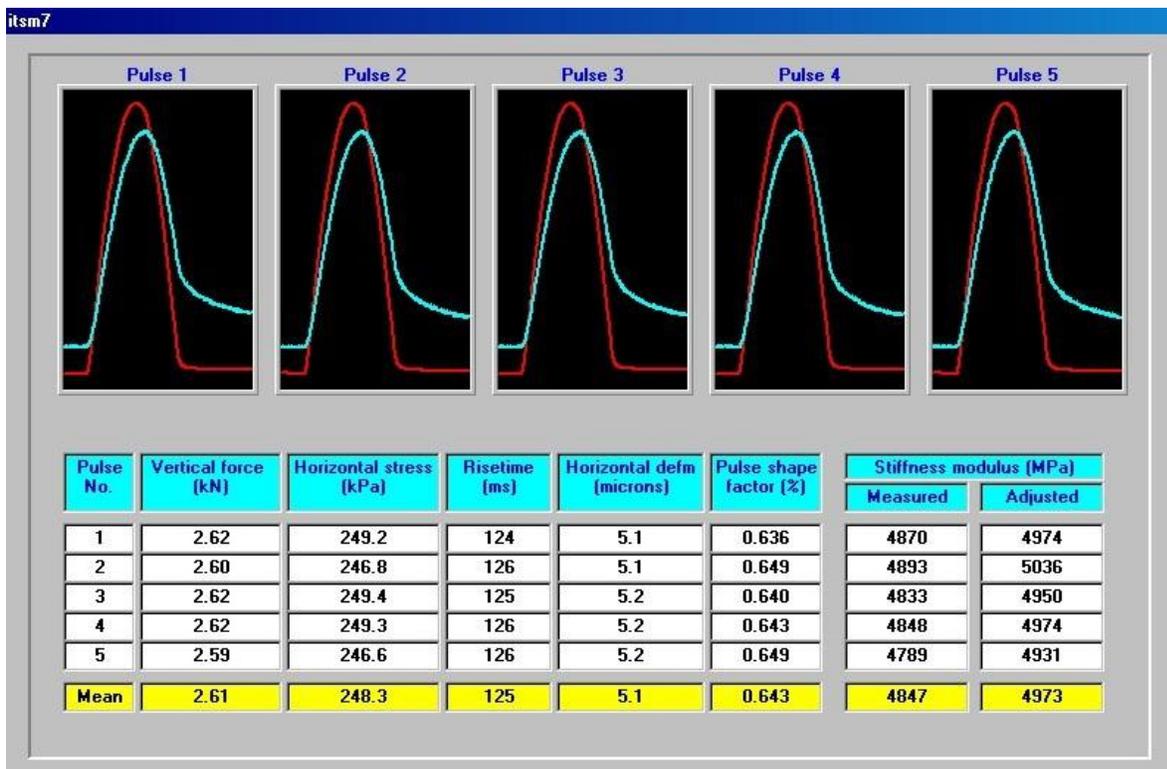




MD03T20



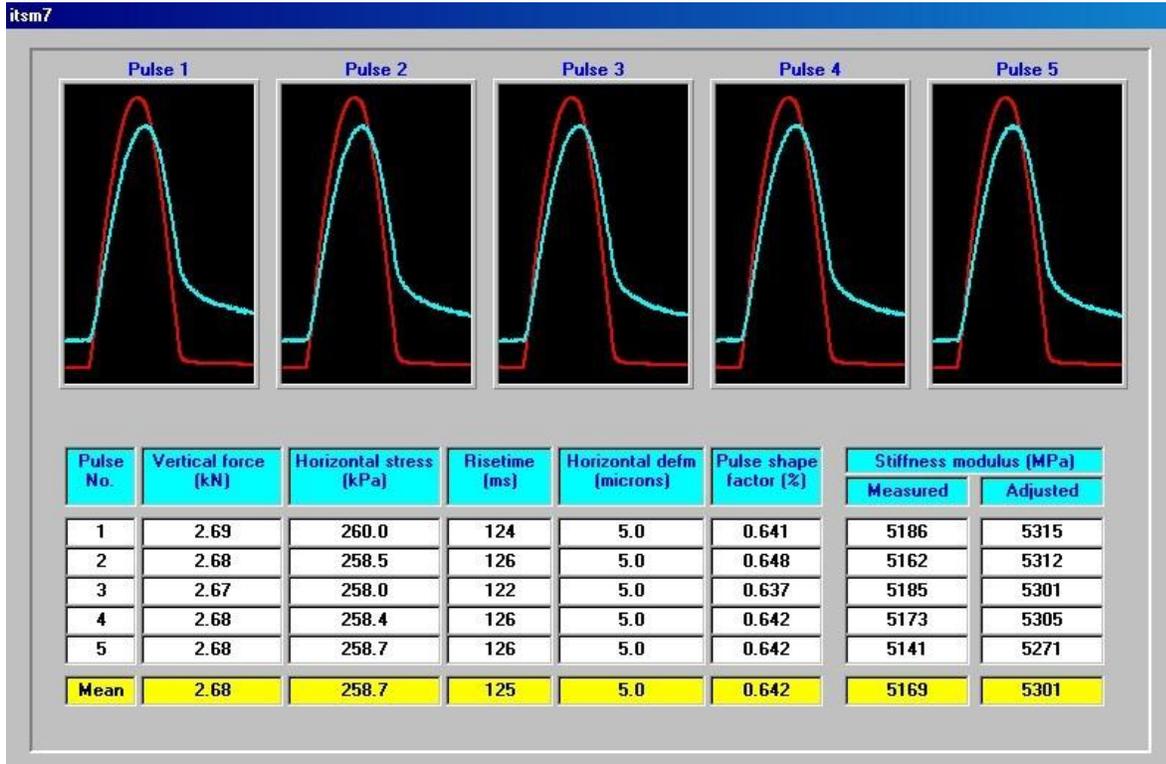
MD04T20



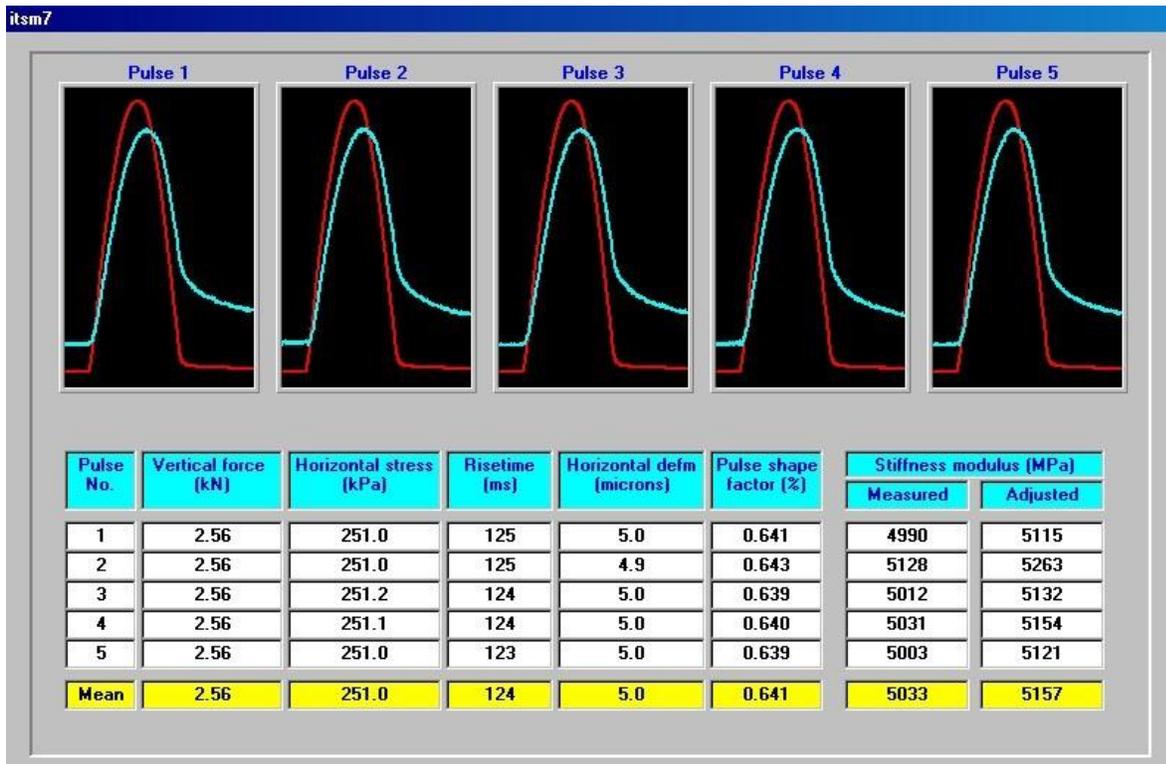


Fecha: 04 de junio del 2013

MD01T20

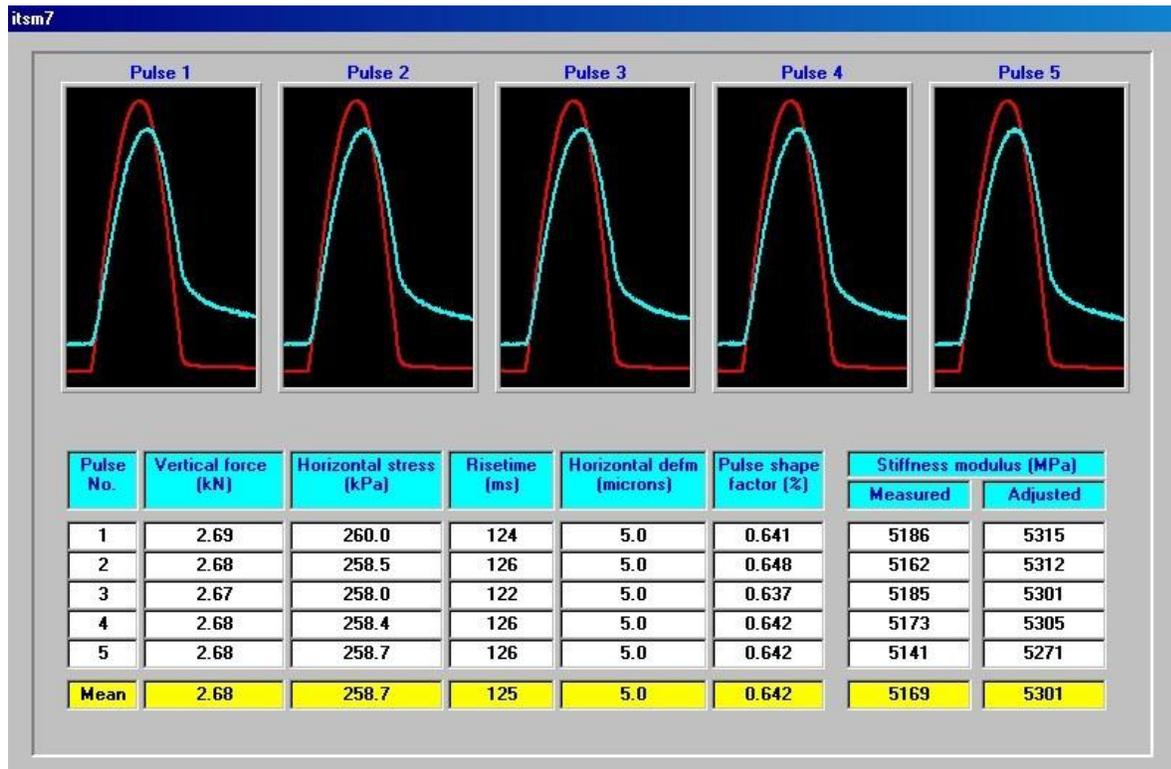


MD02T20

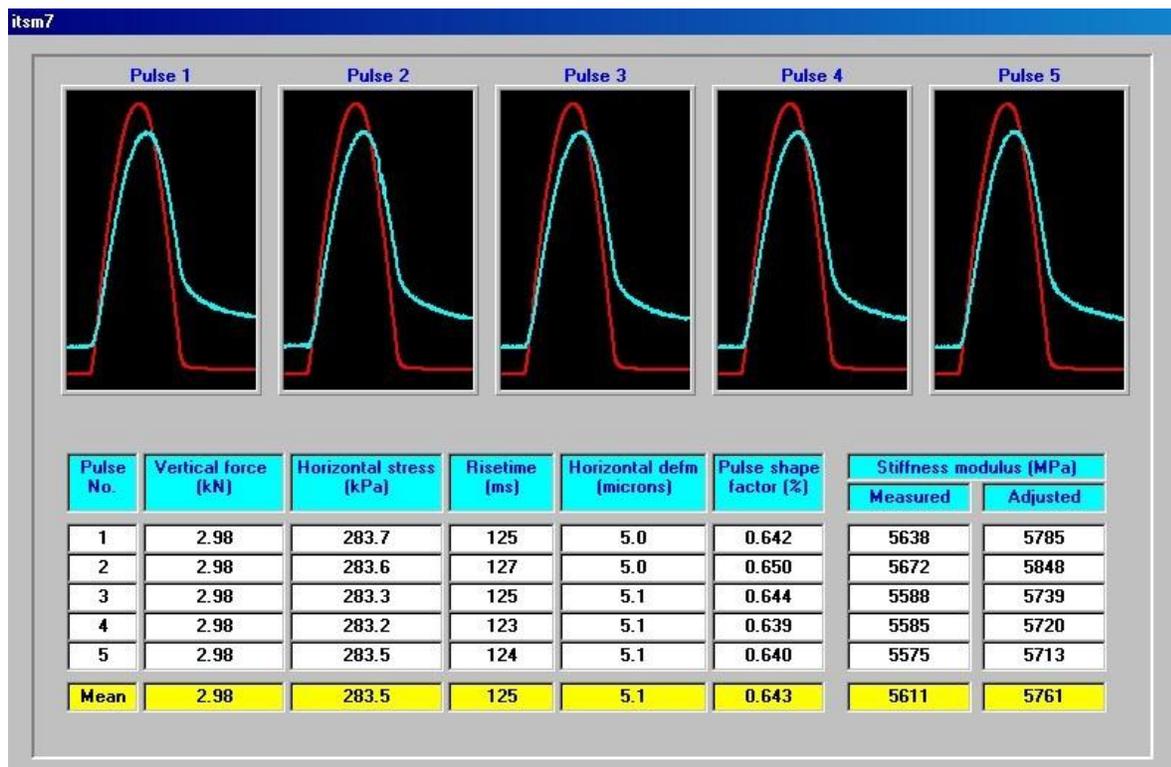




MD03T20



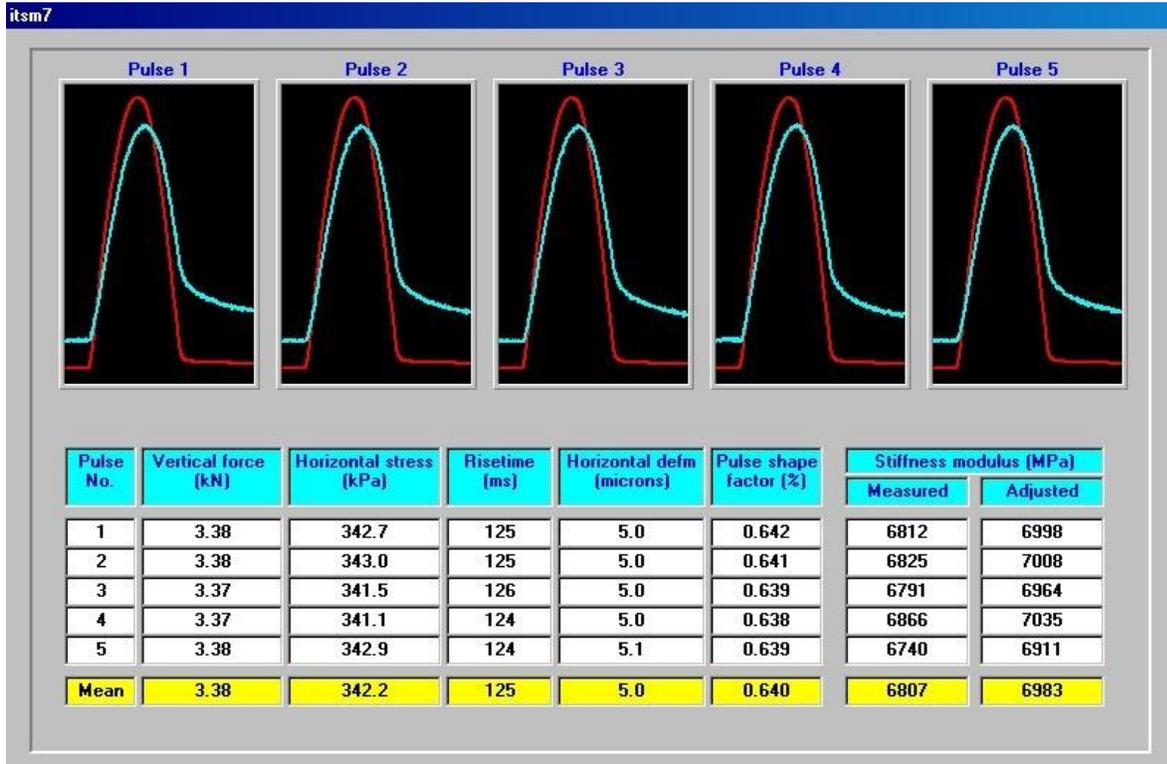
MD04T20



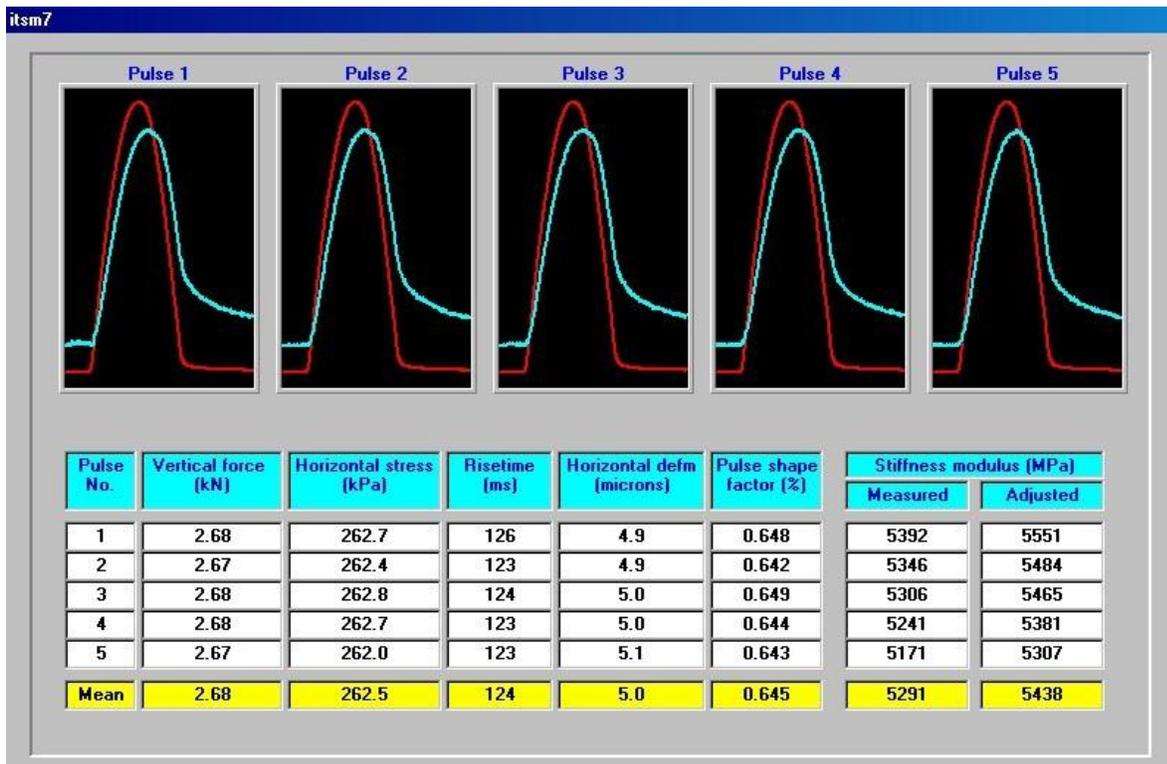


Fecha: 08 de julio del 2013

MD01T20

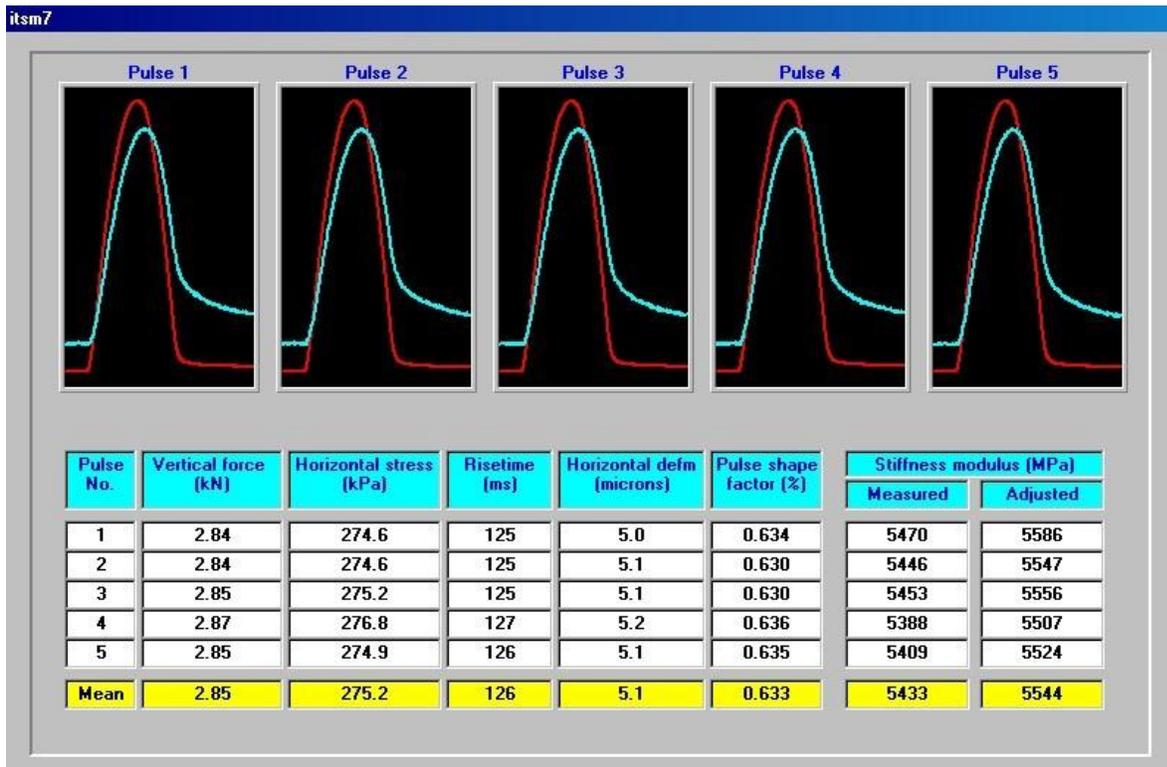


MD02T20

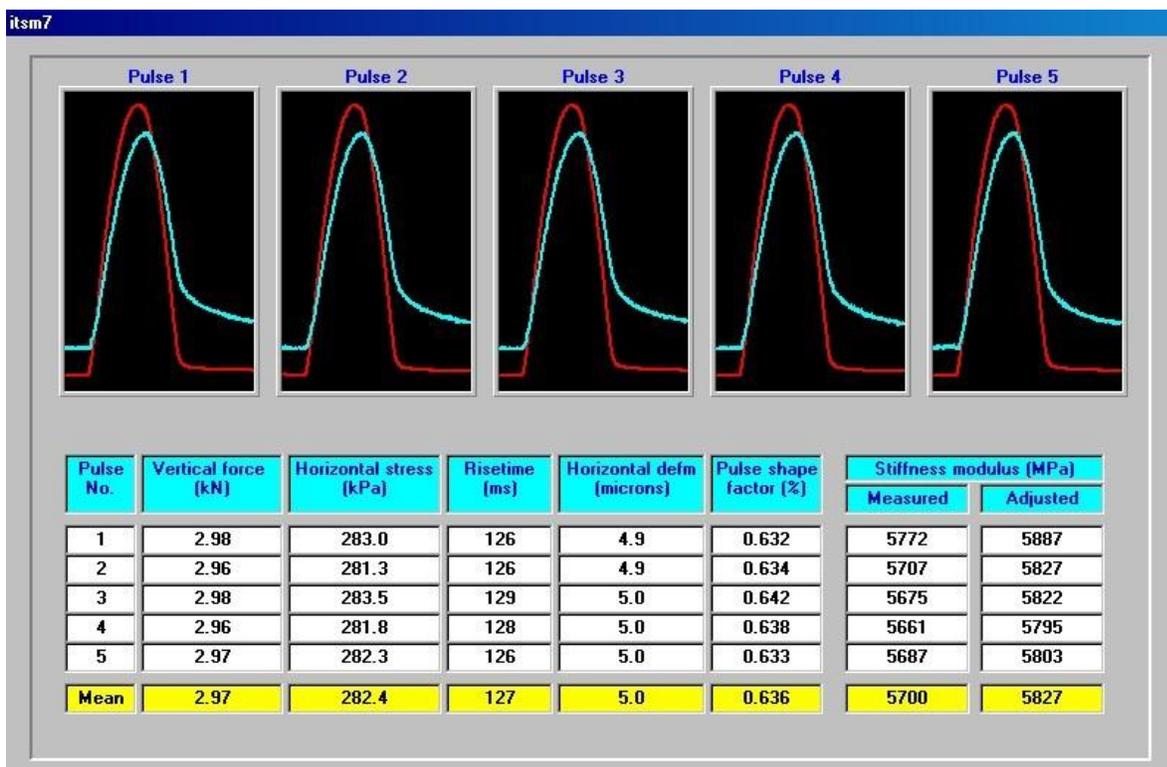




MD03T20



MD04T20

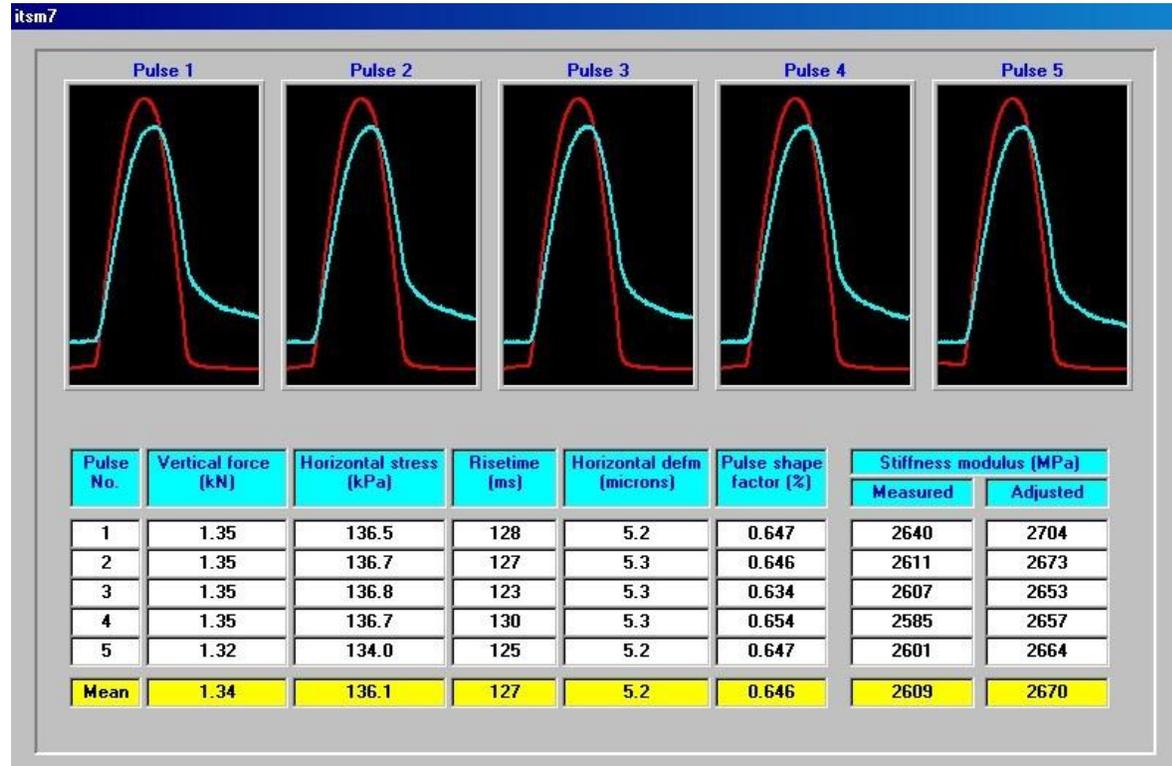




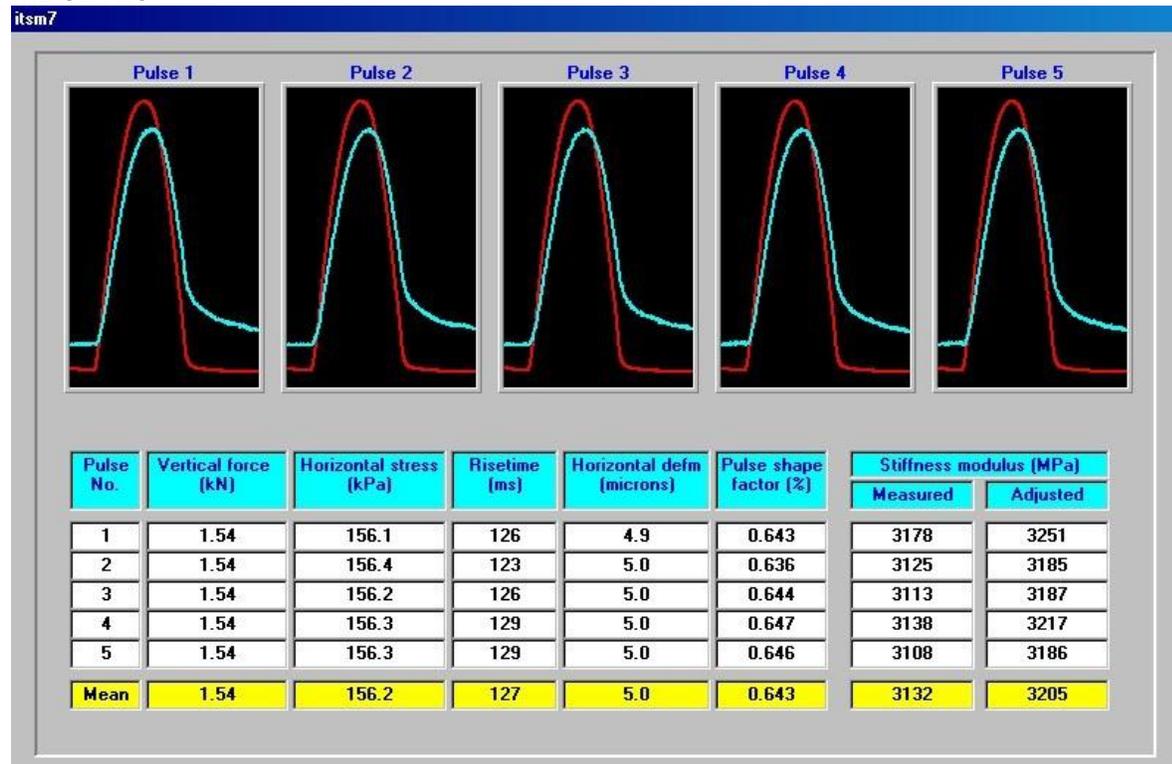
### MEZCLAS CON EMULSION ASFALTICA

Fecha: 21 de febrero del 2013

MD01T20

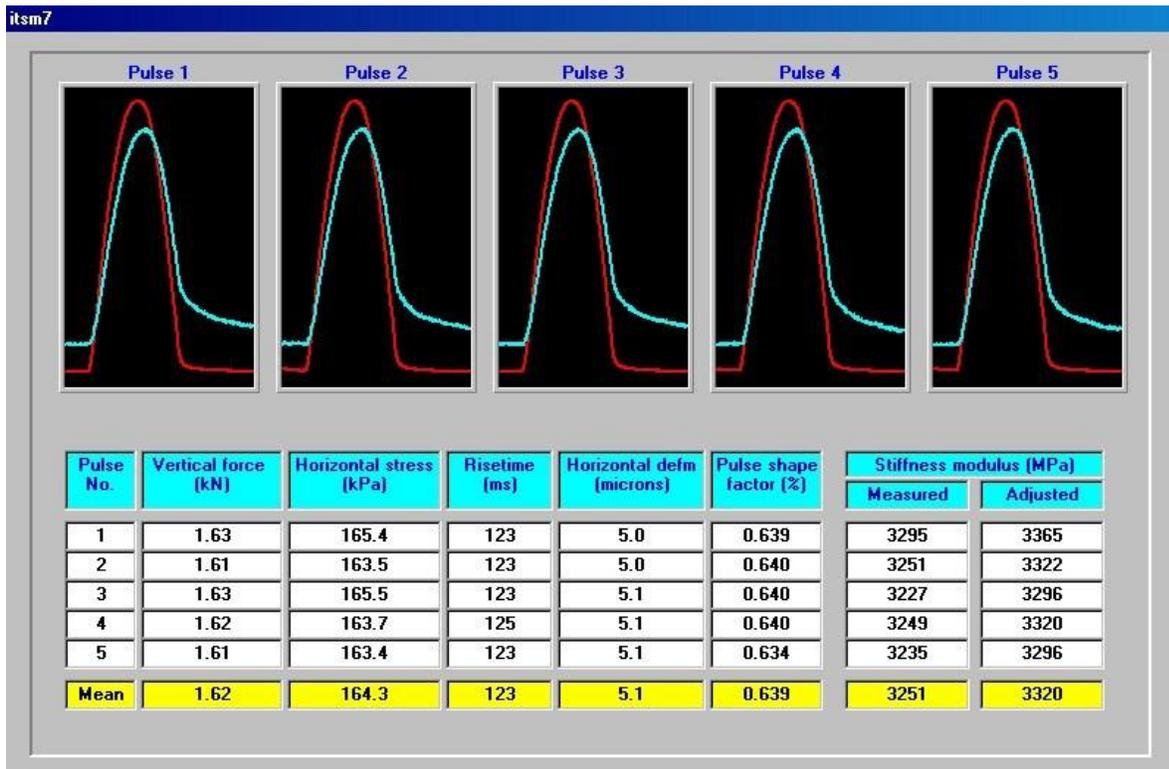


MD02T20

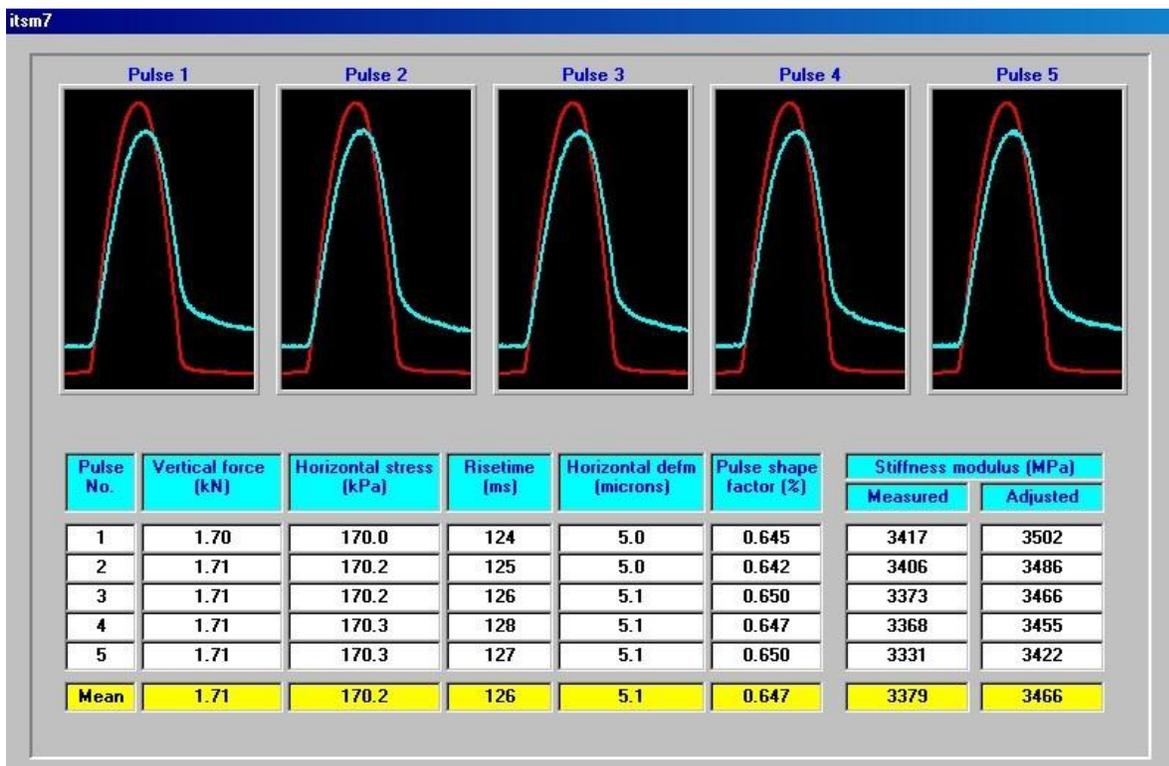




MD03T20



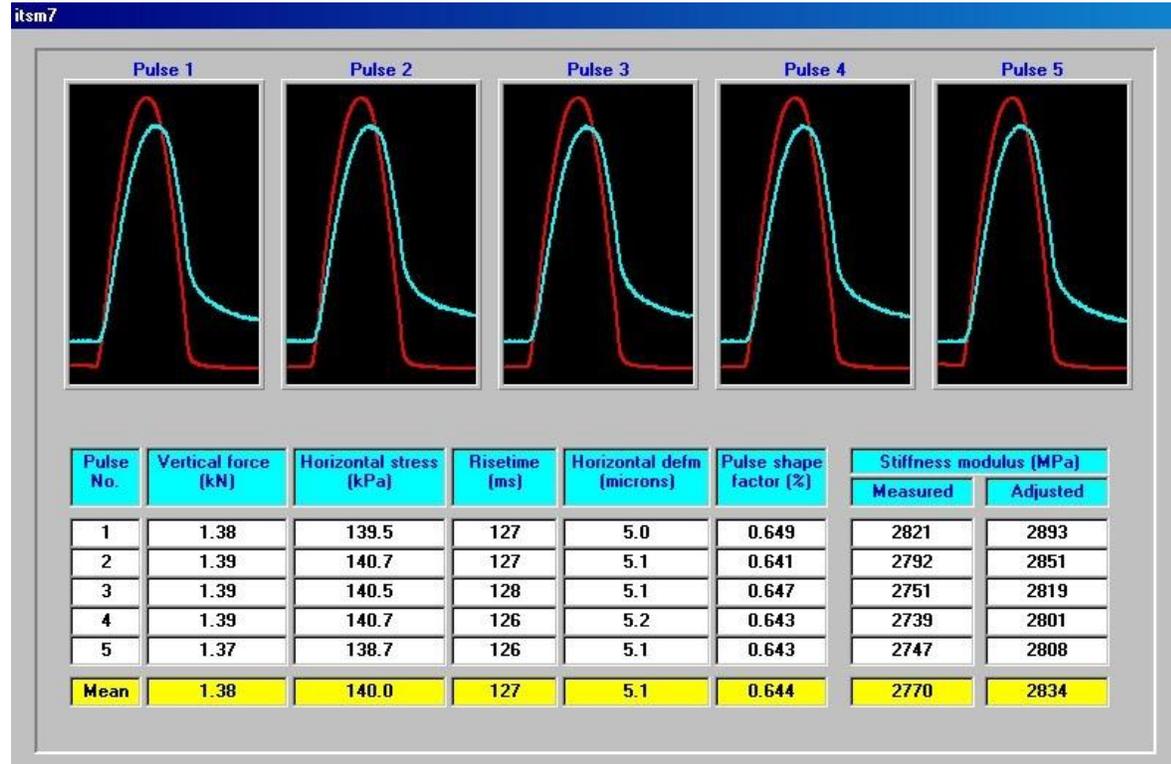
MD04T20



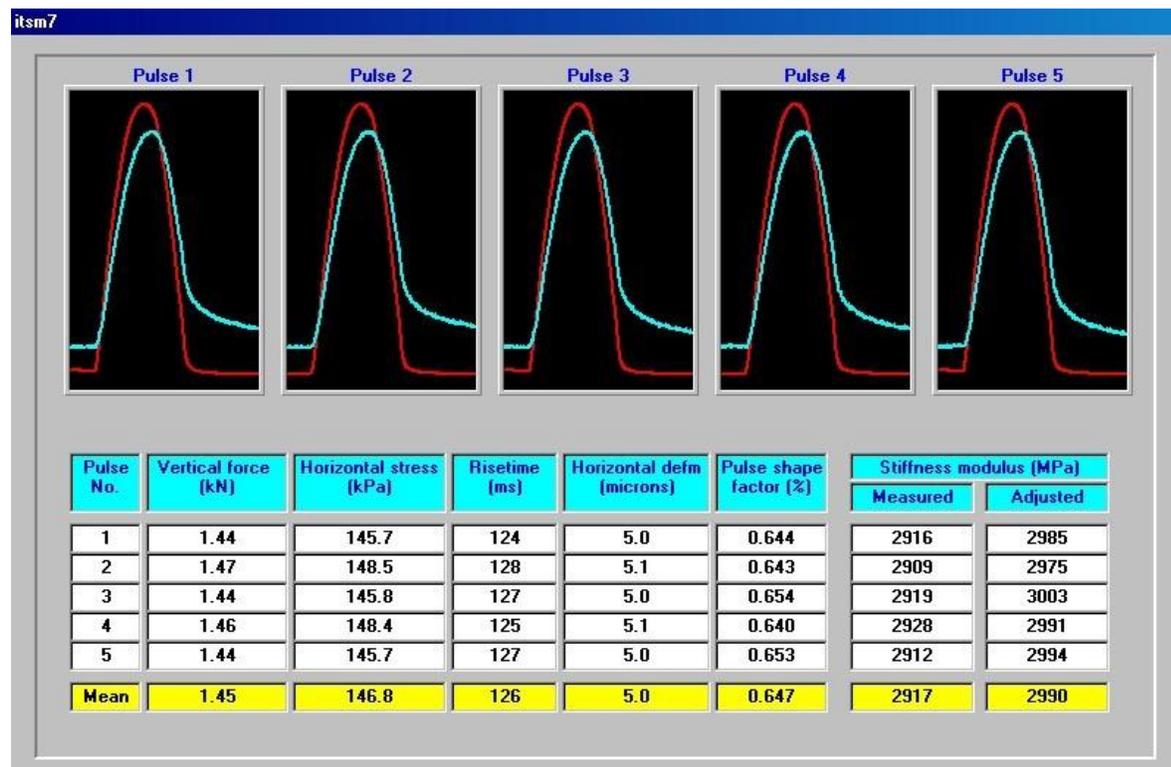


Fecha: 01 de marzo del 2013

MD01T20

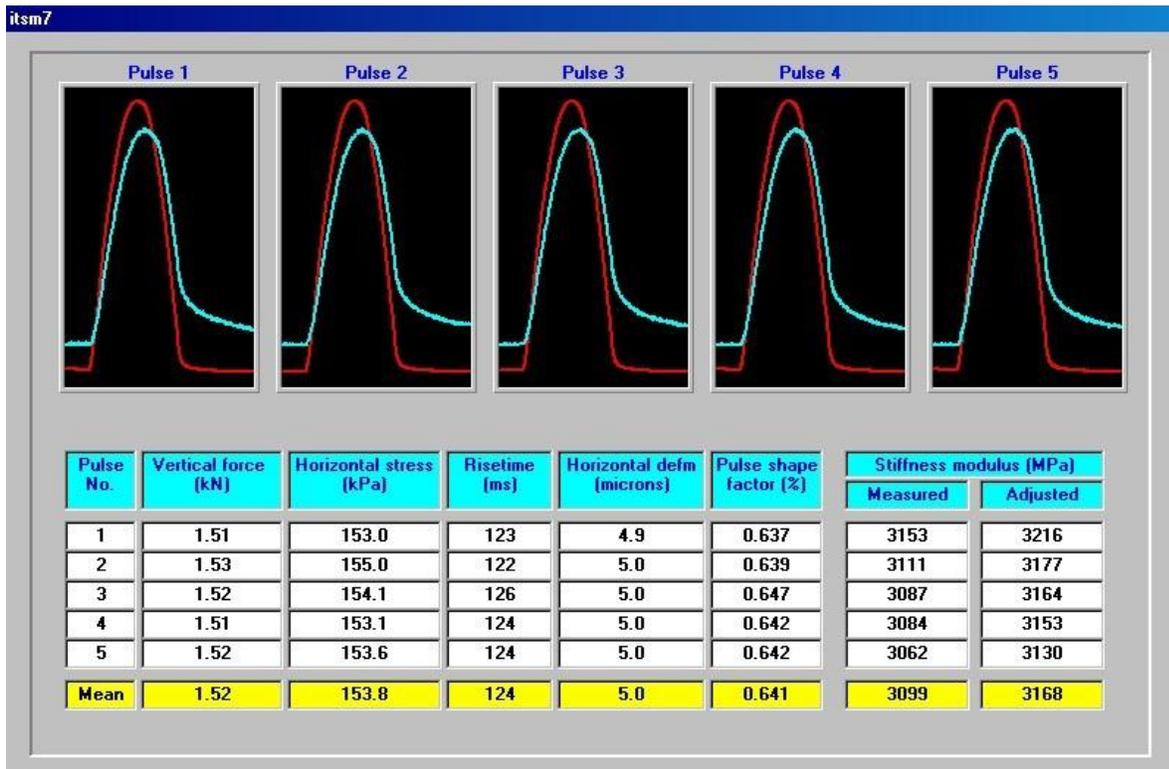


MD02T20

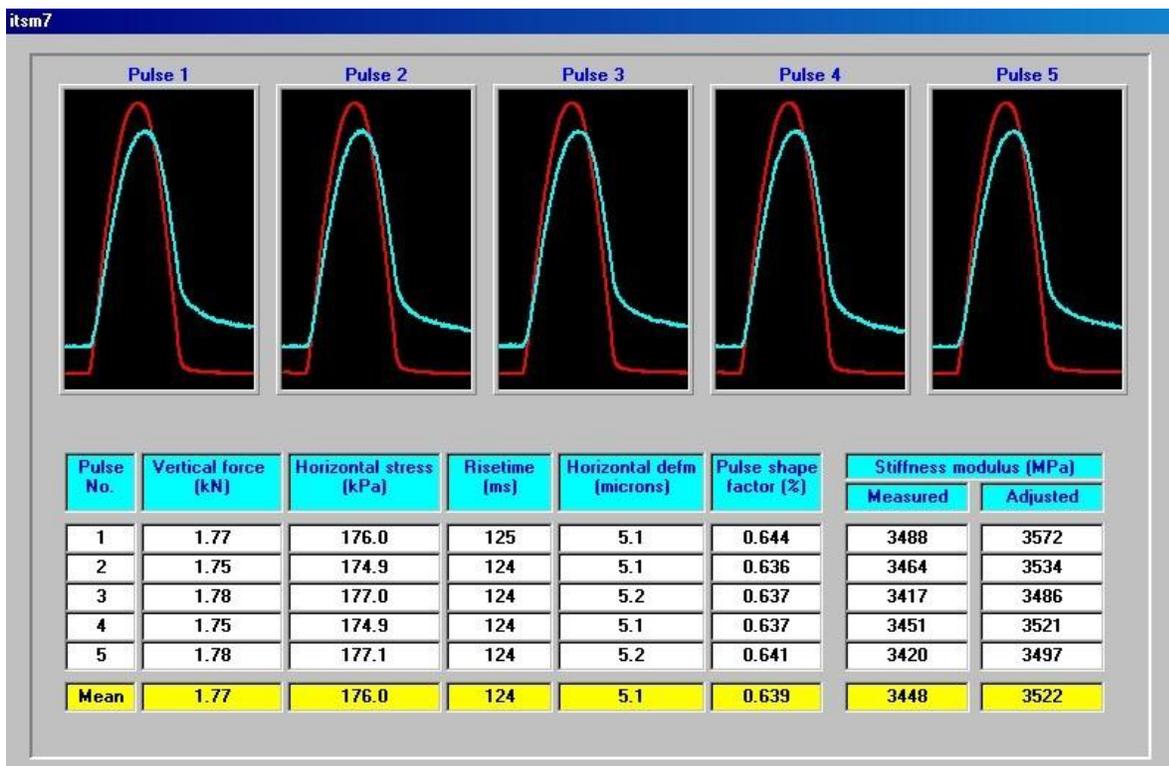




MD03T20



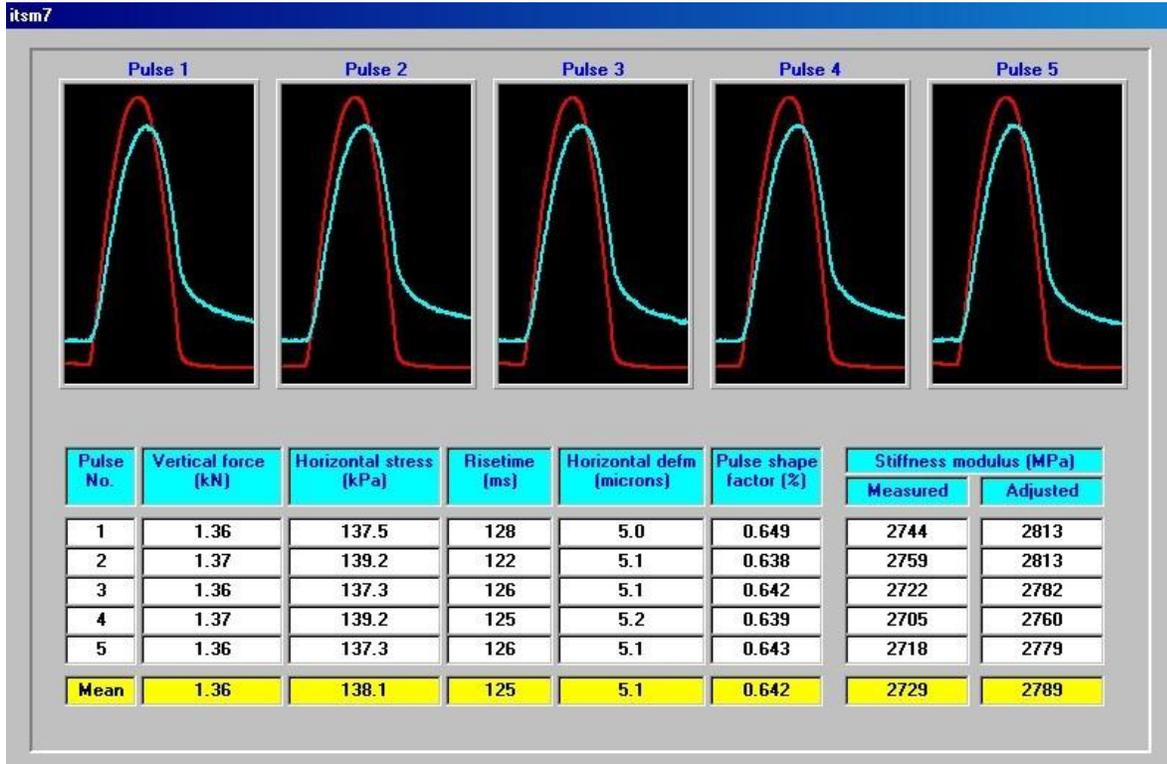
MD04T20



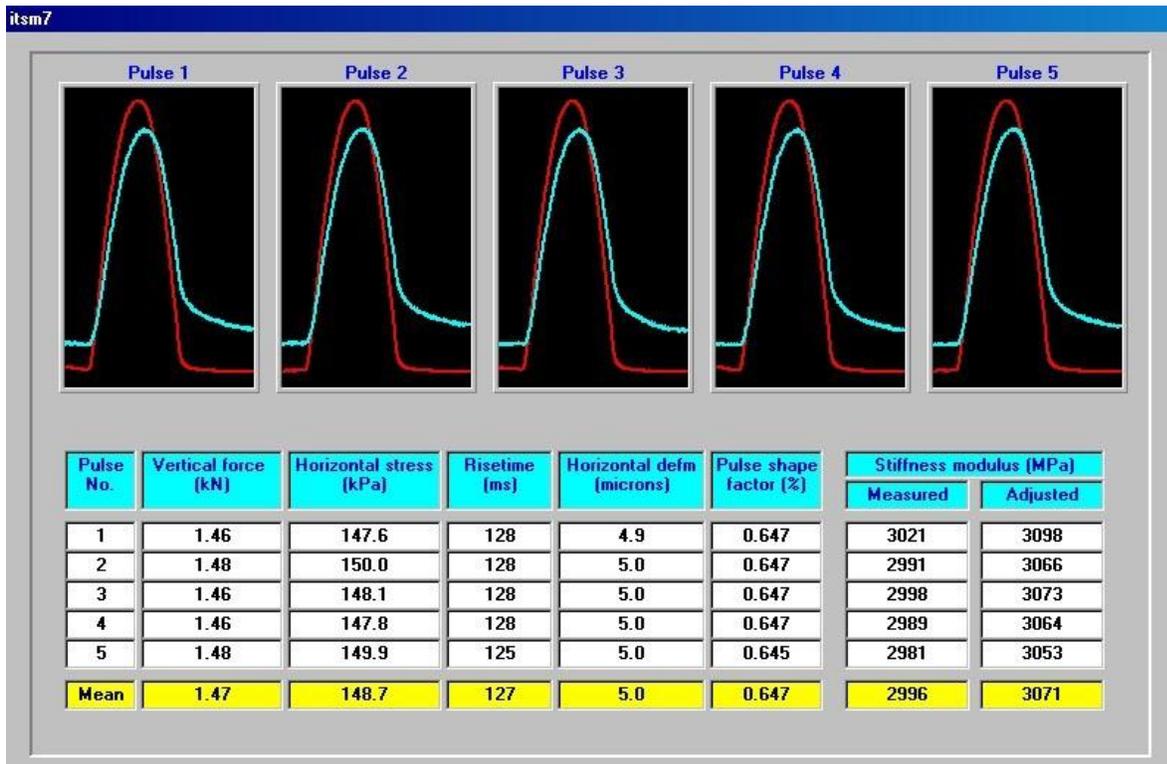


Fecha: 15 de abril del 2013

MD01T20

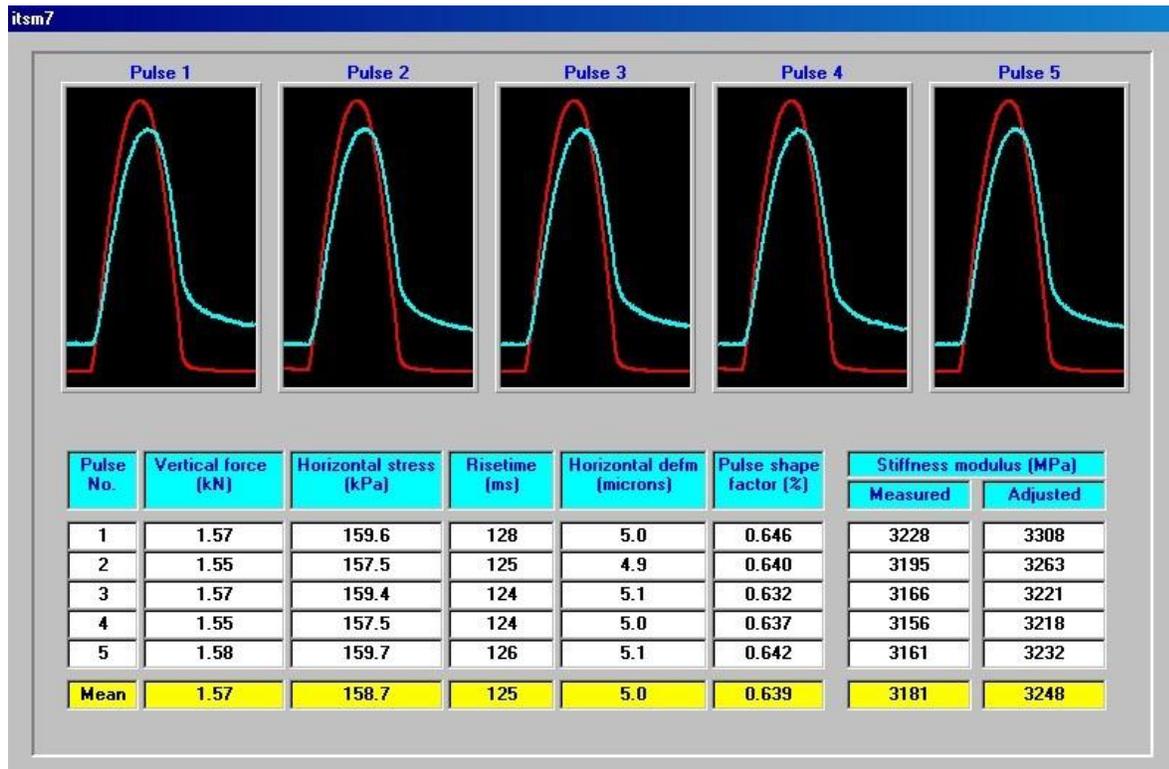


MD02T20

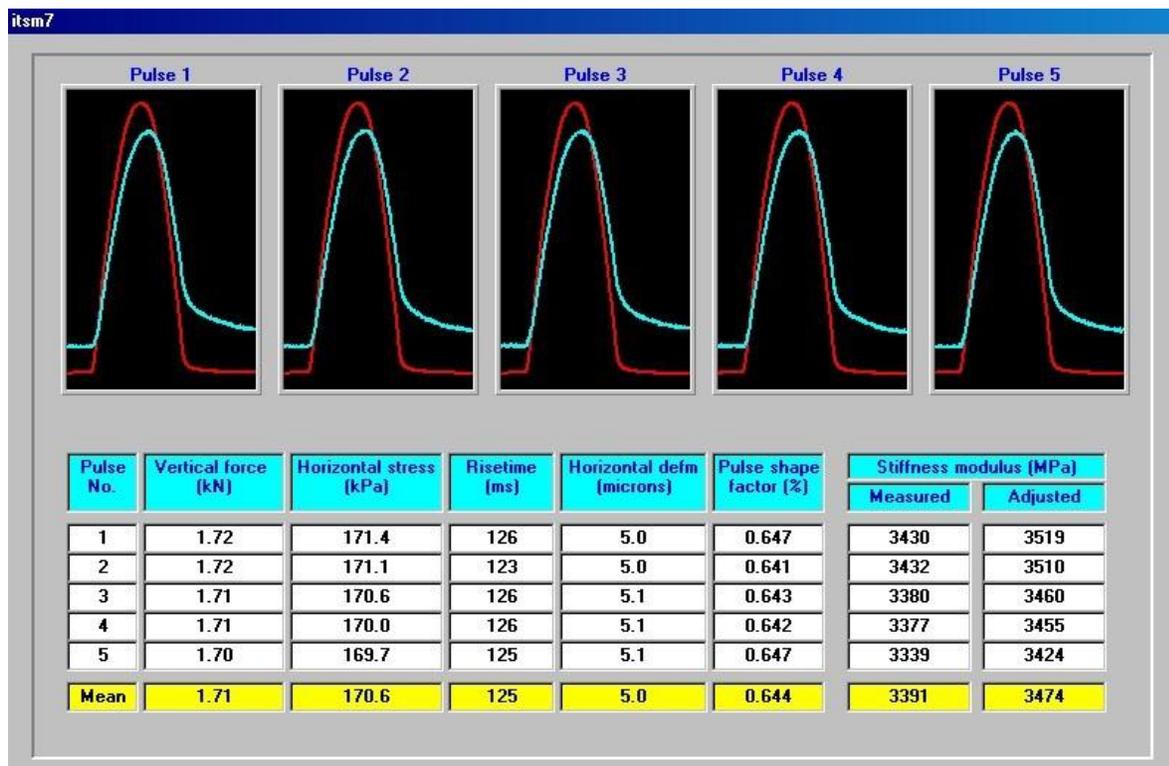




MD03T20



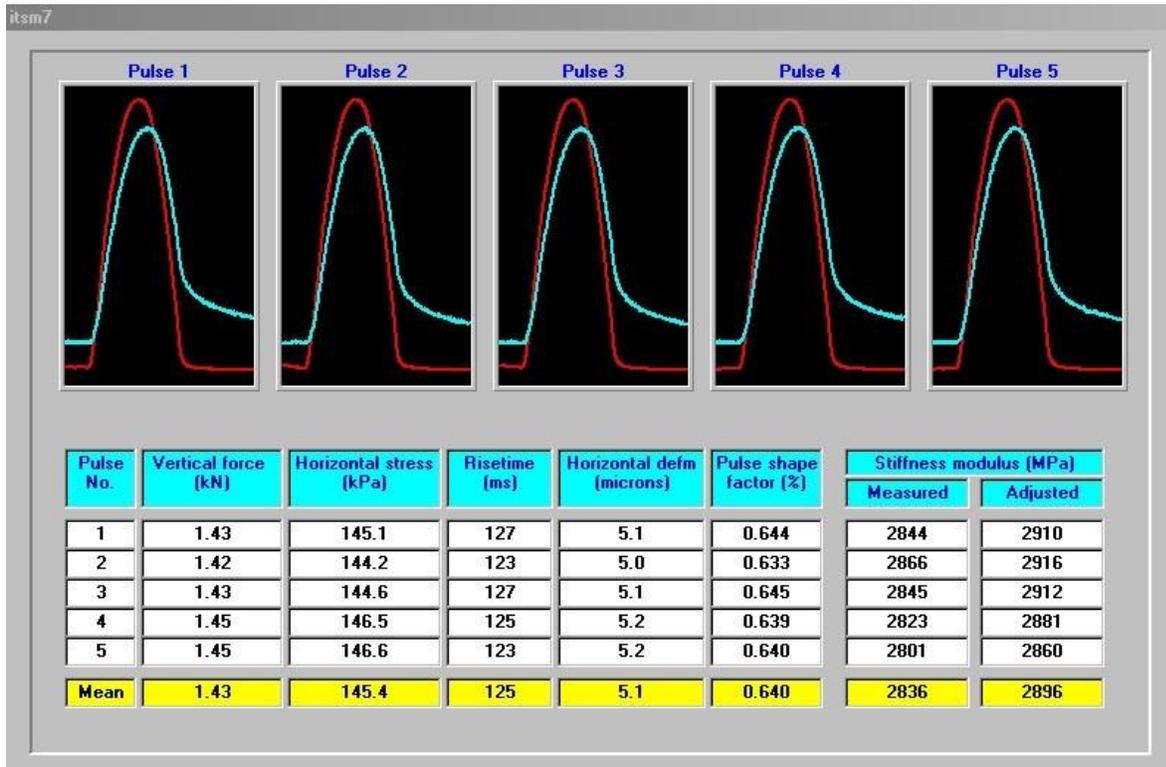
MD04T20



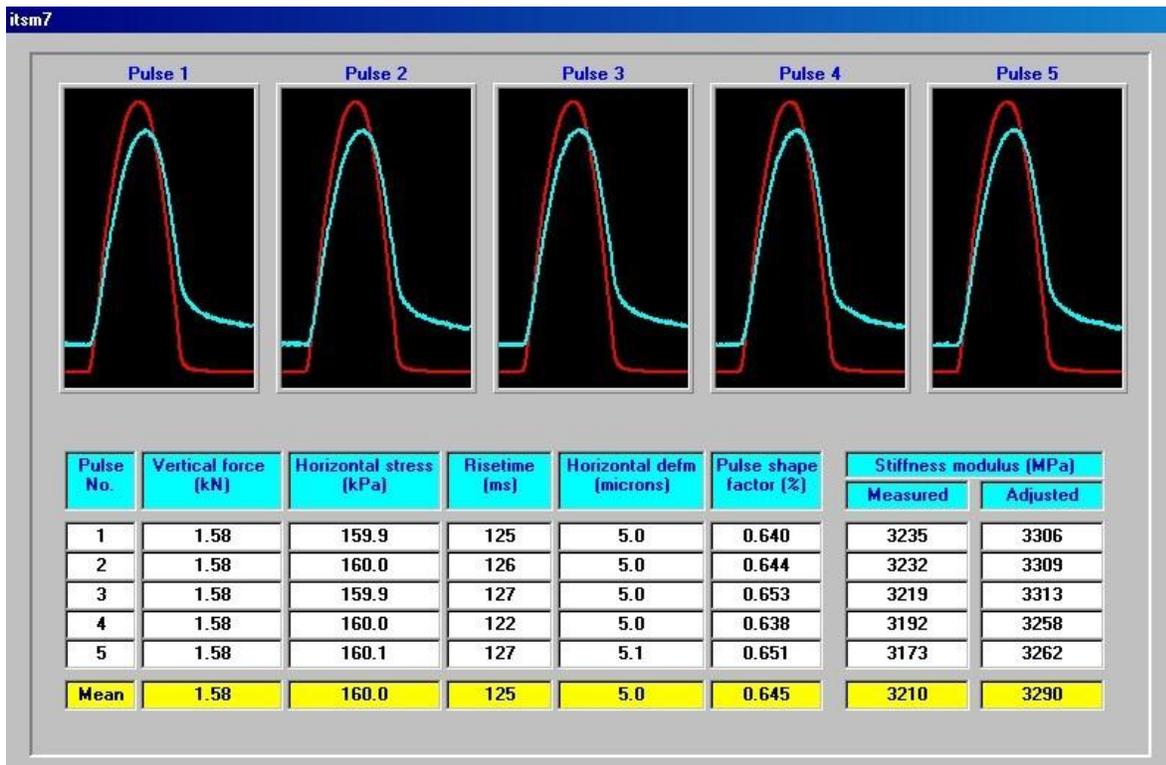


Fecha: 04 de junio del 2013

MD01T20

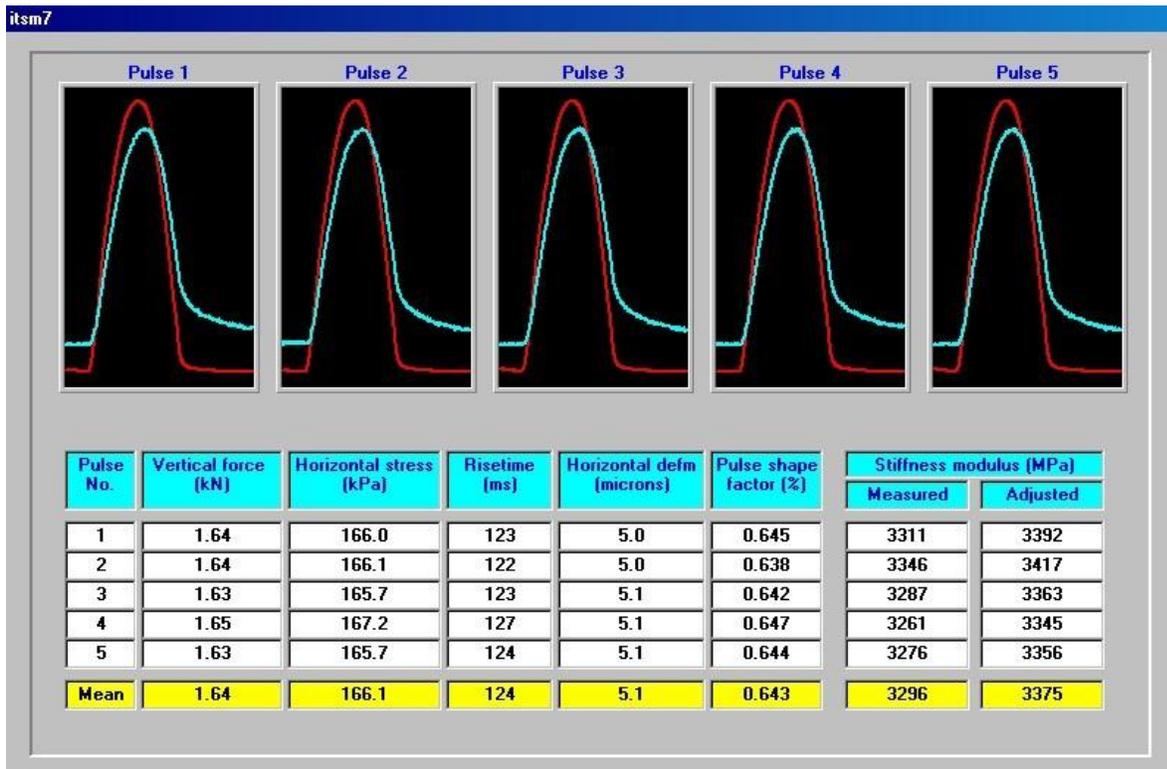


MD02T20

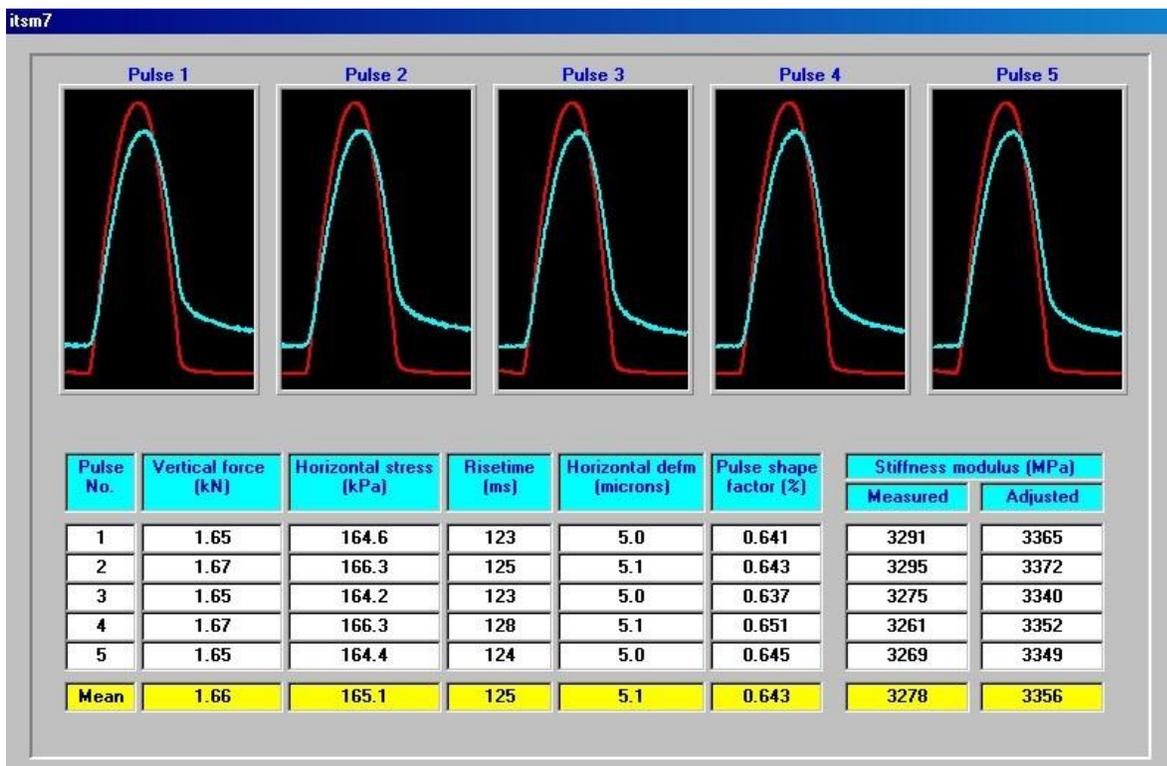




MD03T20



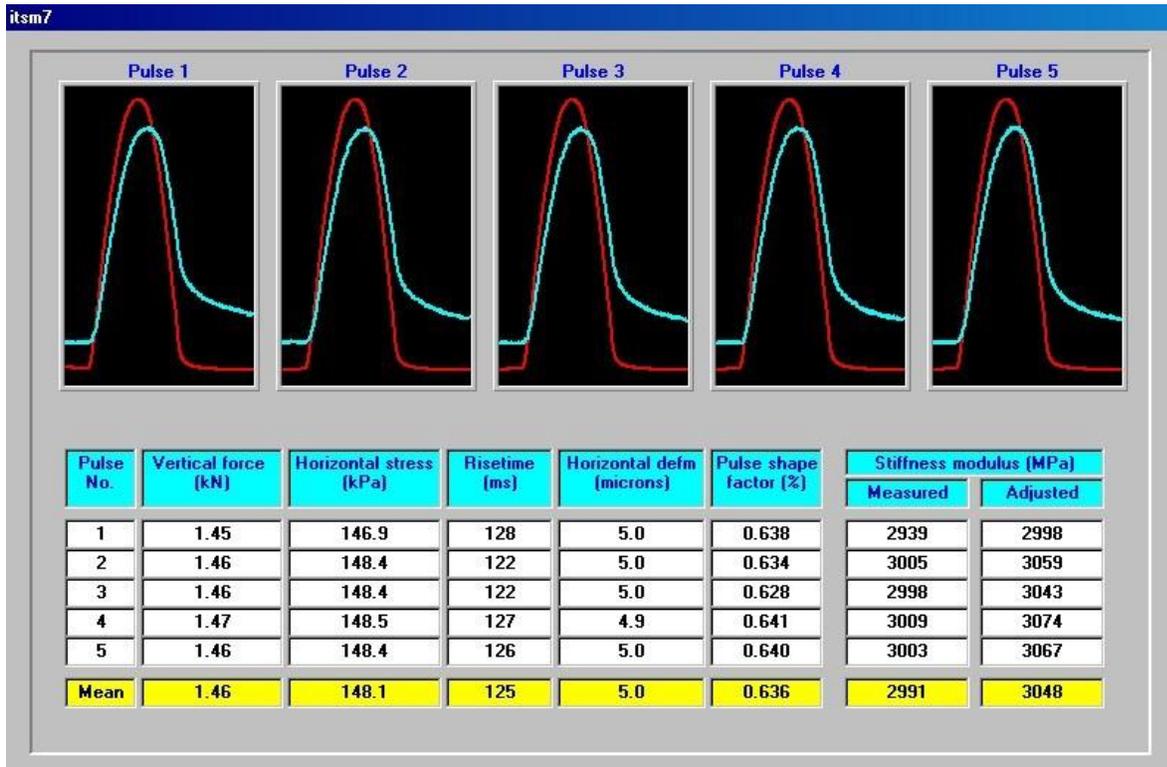
MD04T20



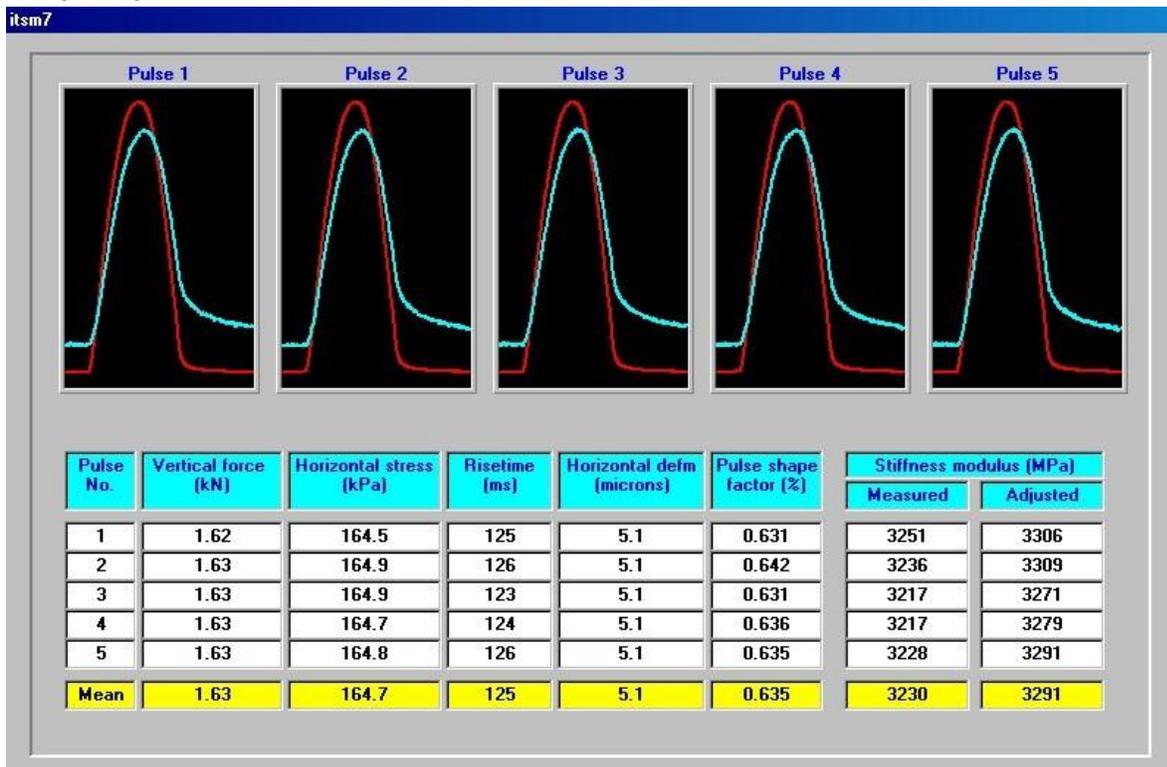


Fecha: 8 julio del 2013

MD01T20

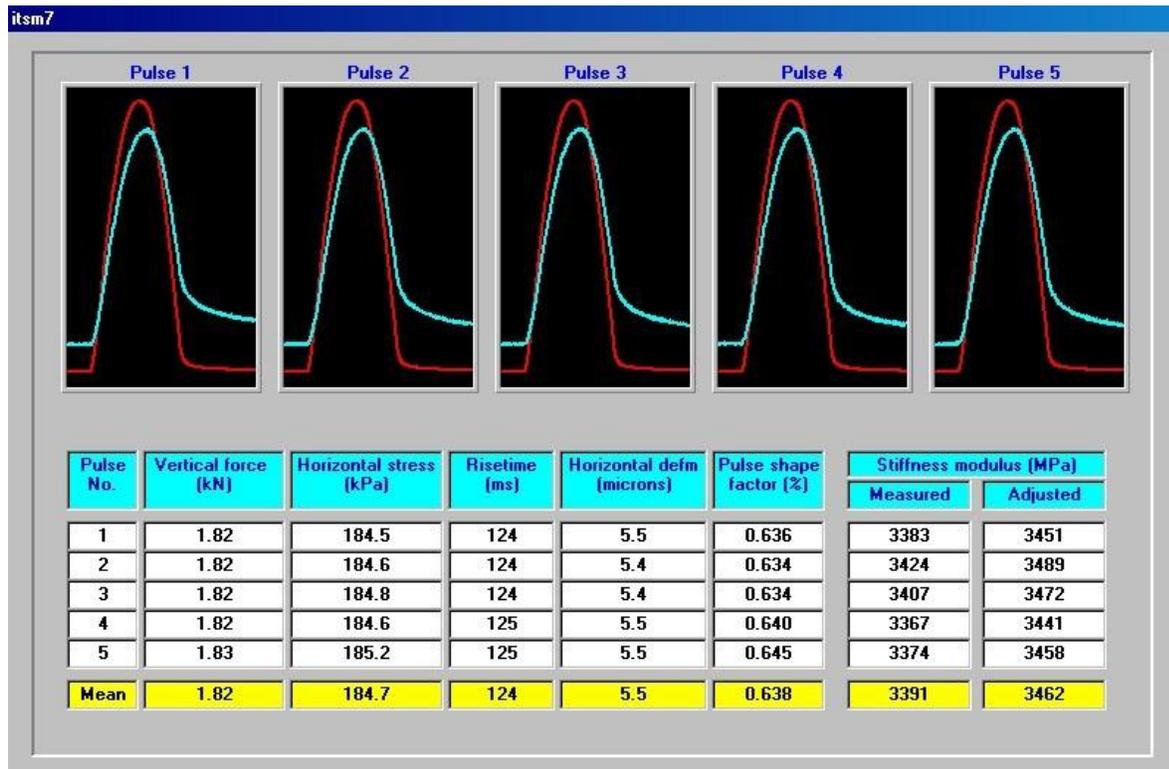


MD02T20

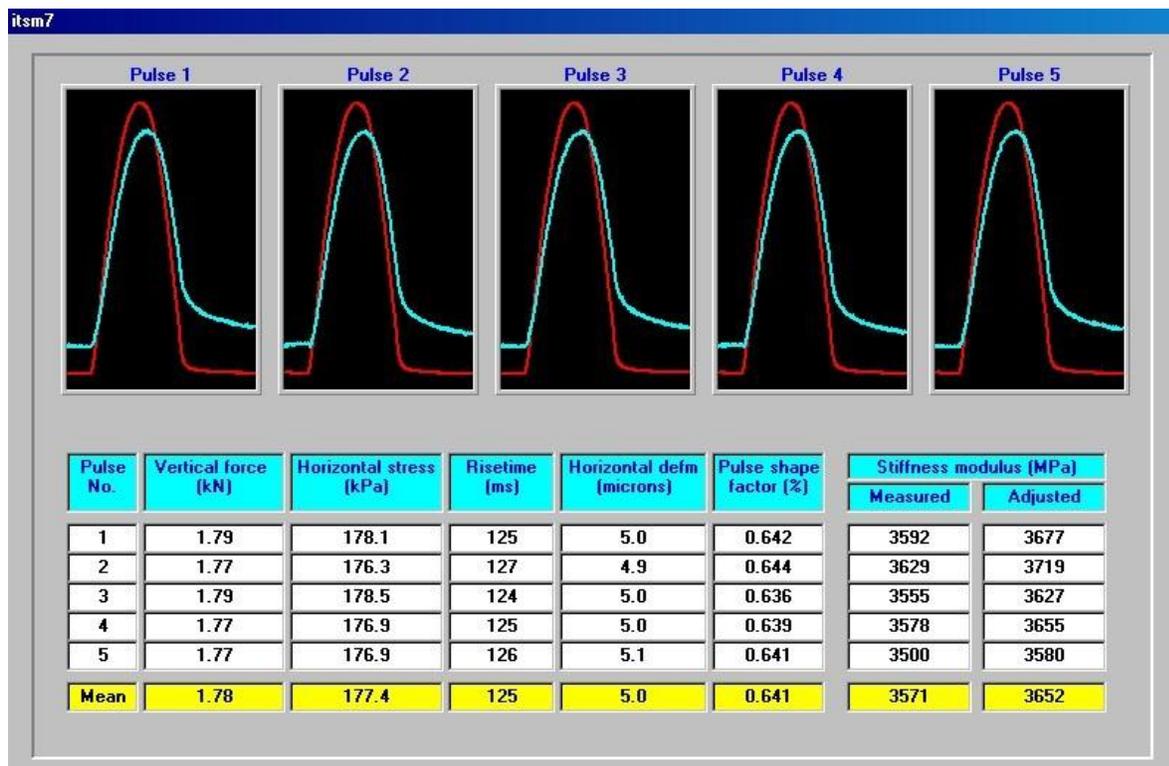




MD03T20

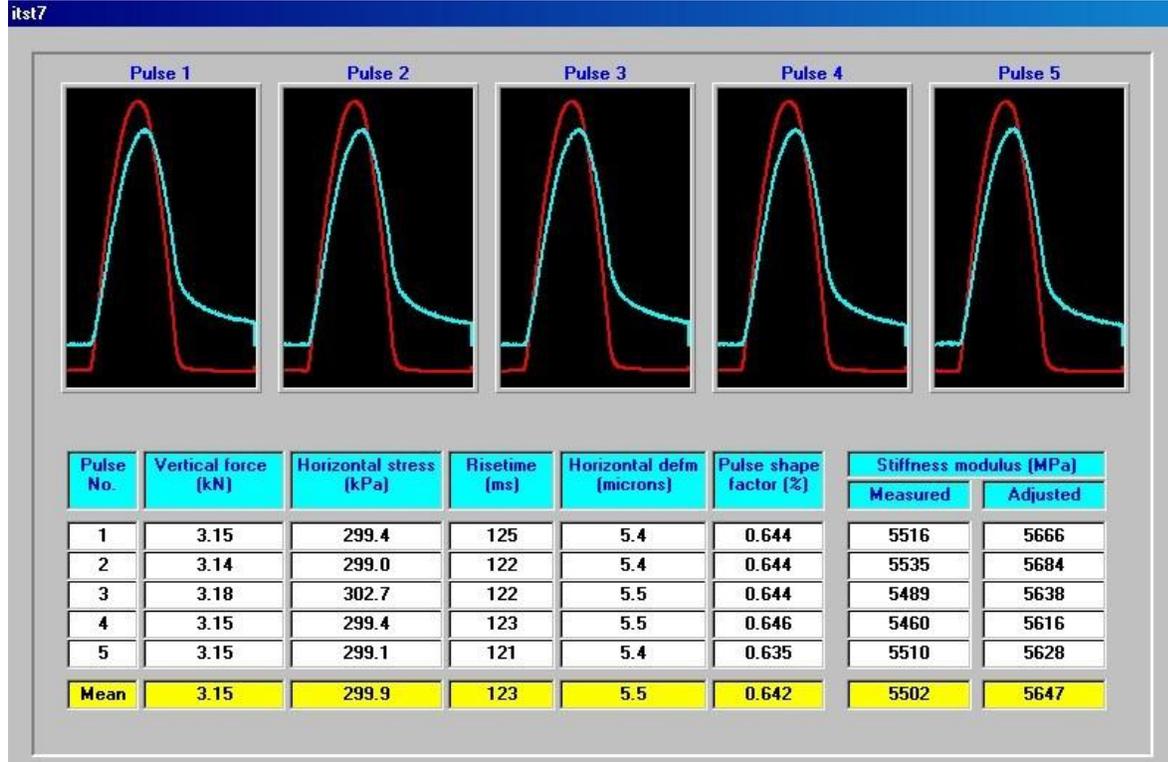


MD04T20

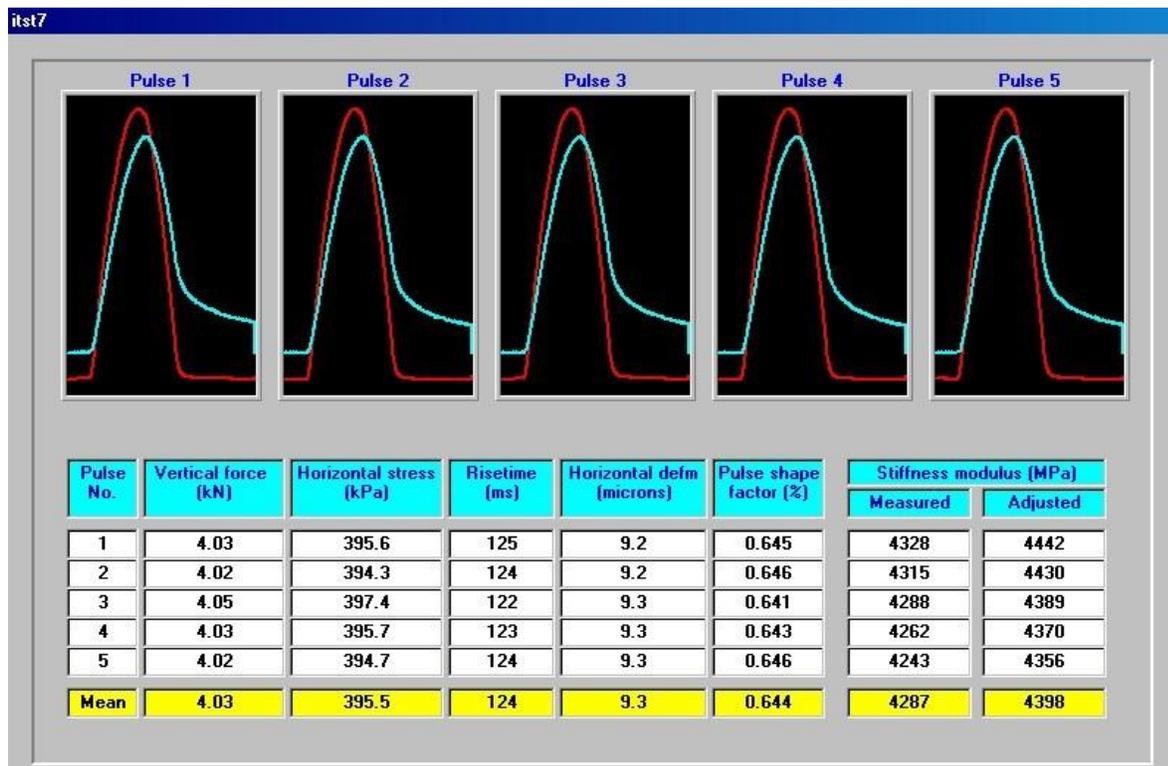




ENSAYOS DE FATIGA: **MEZCLAS CALIENTES**  
MODULOS A CARGA CONTROLADA  
SS01T20

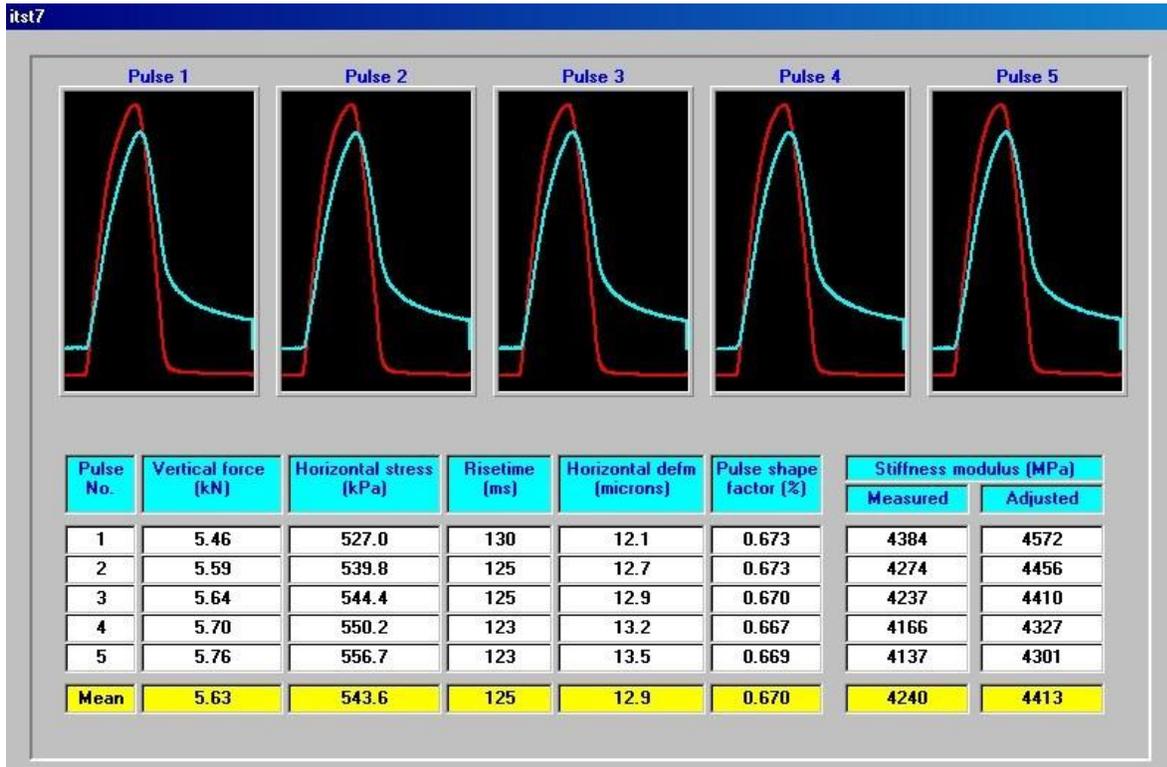


SS02T20

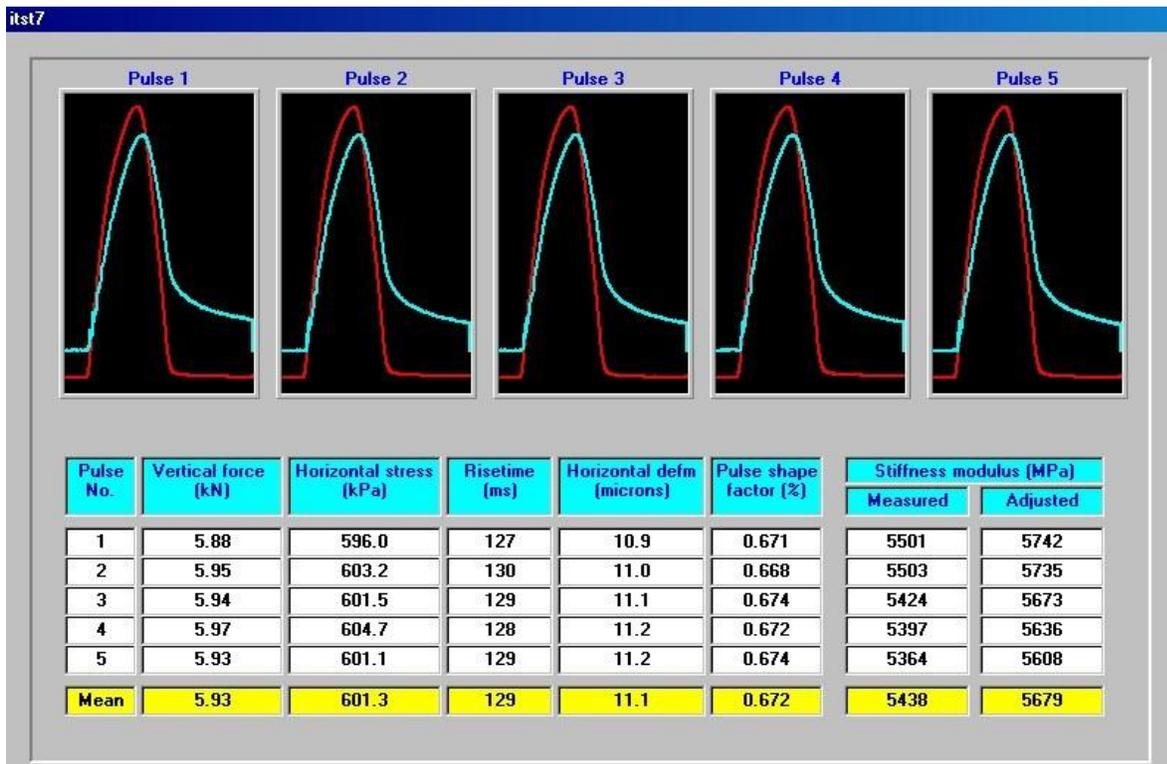




SS03T20



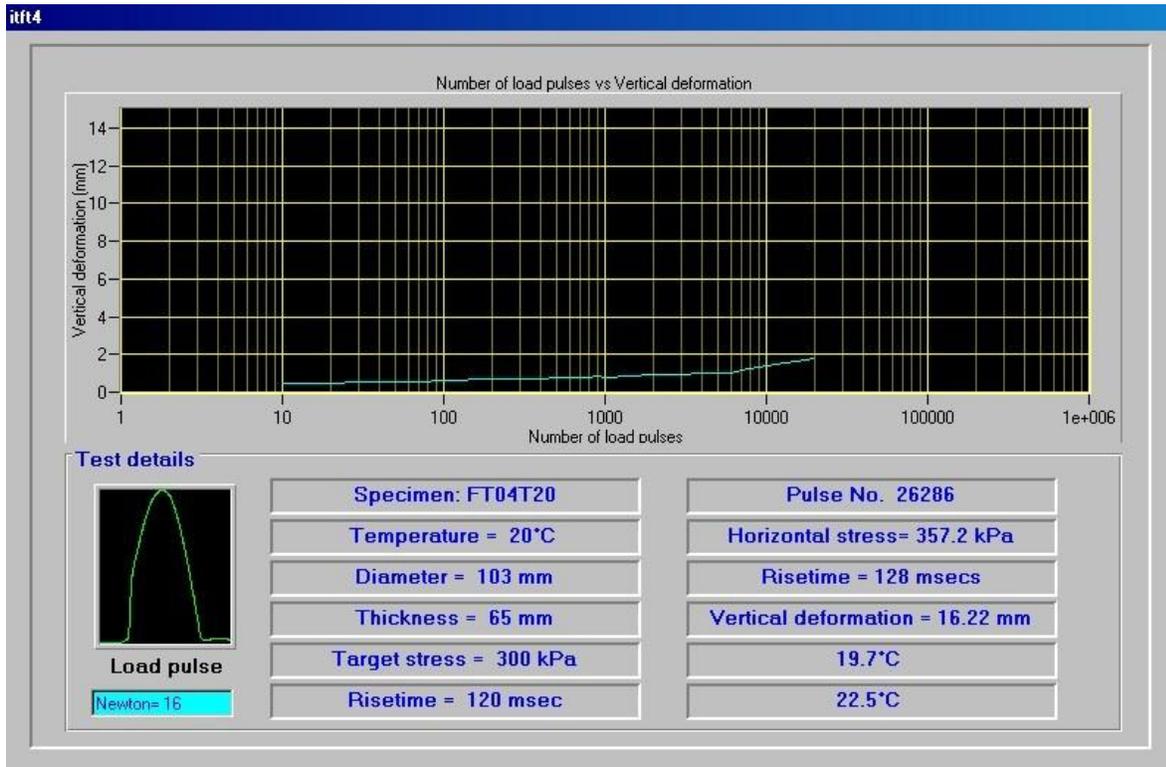
SS04T20



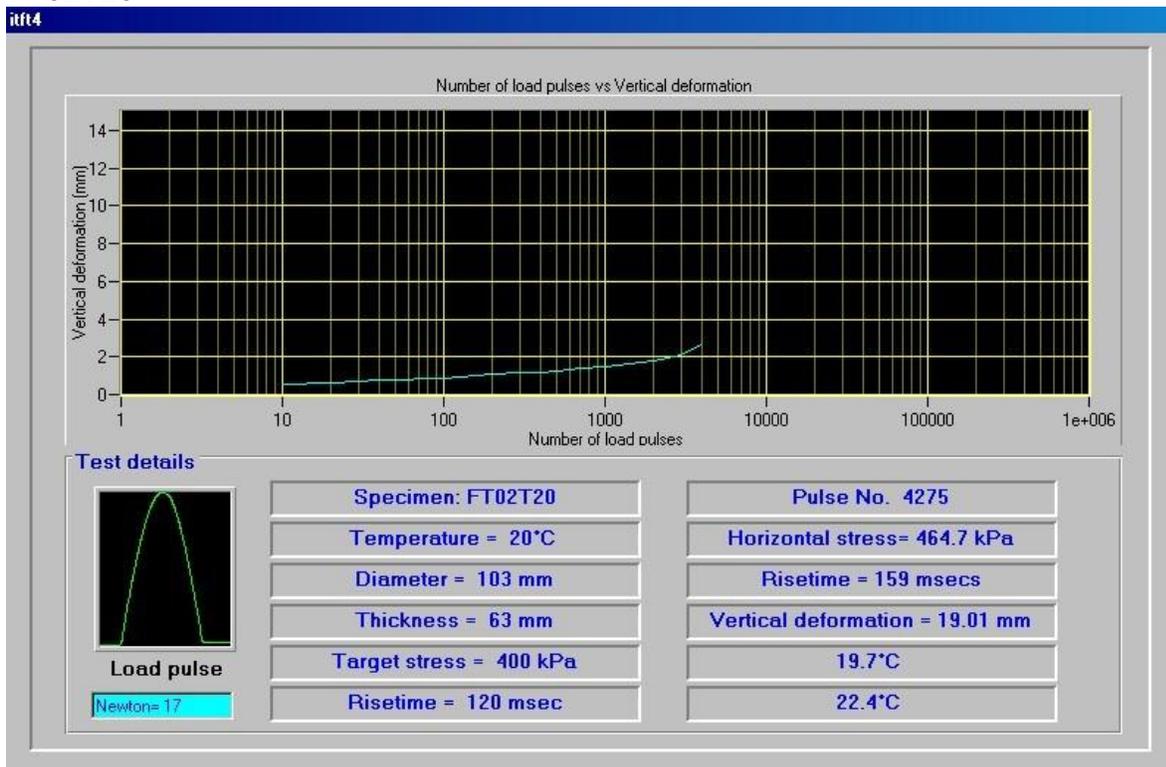


## PRUEBA DE FATIGA

### FT01T20

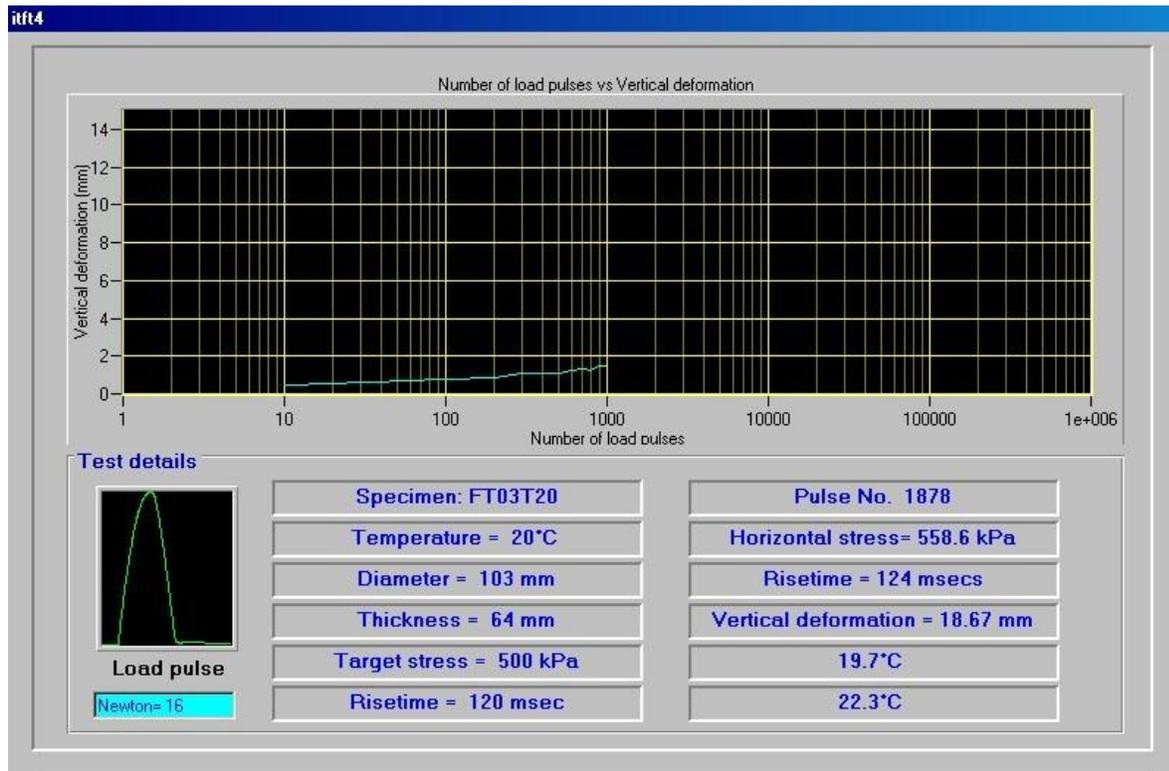


### FT02T20

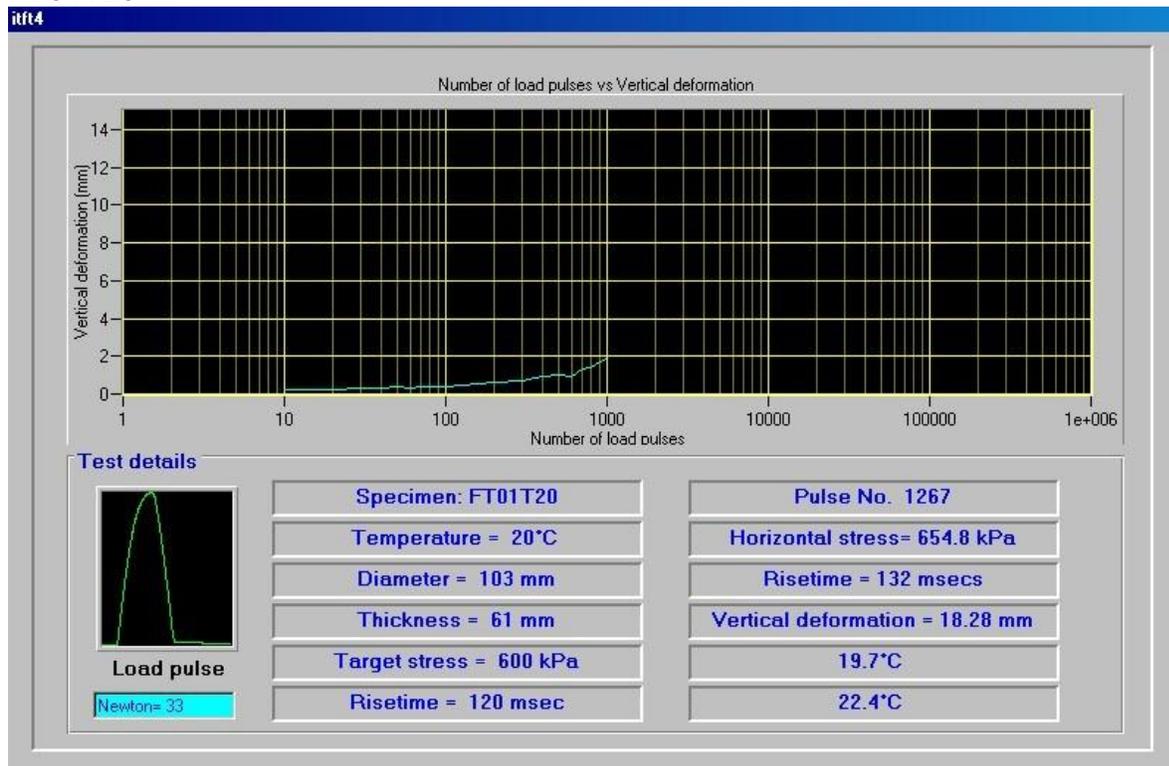




### FT03T20



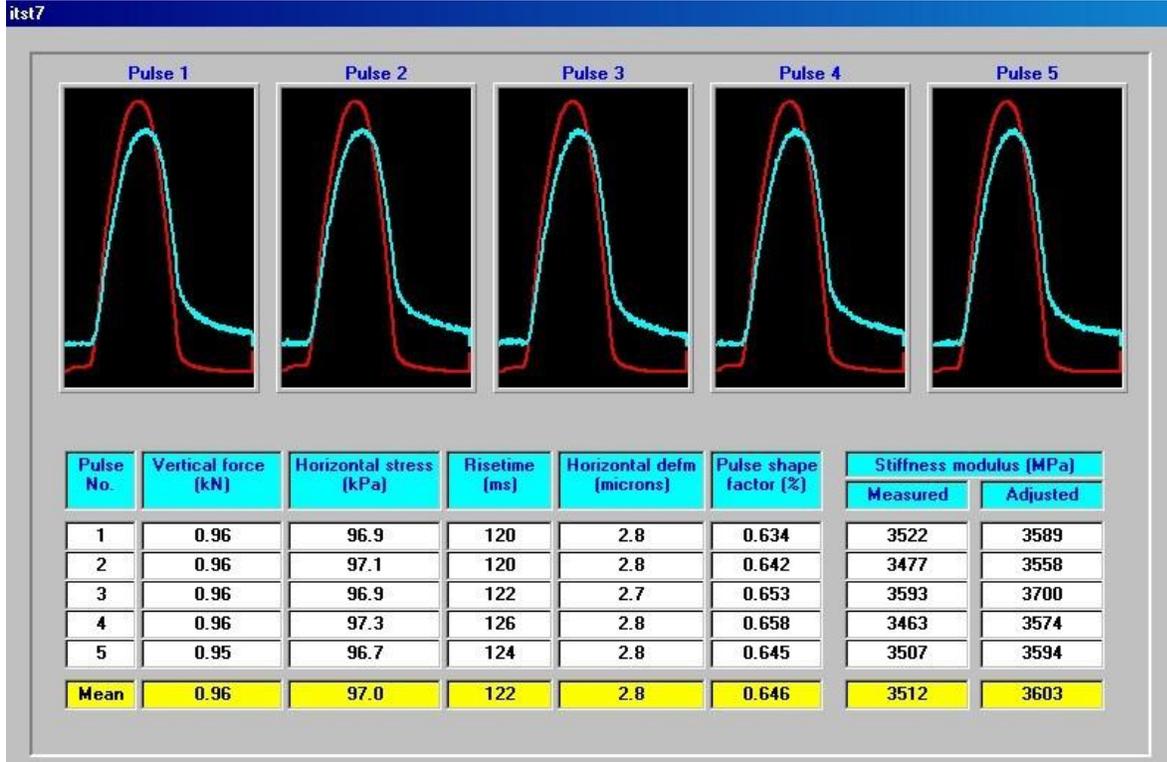
### FT04T20





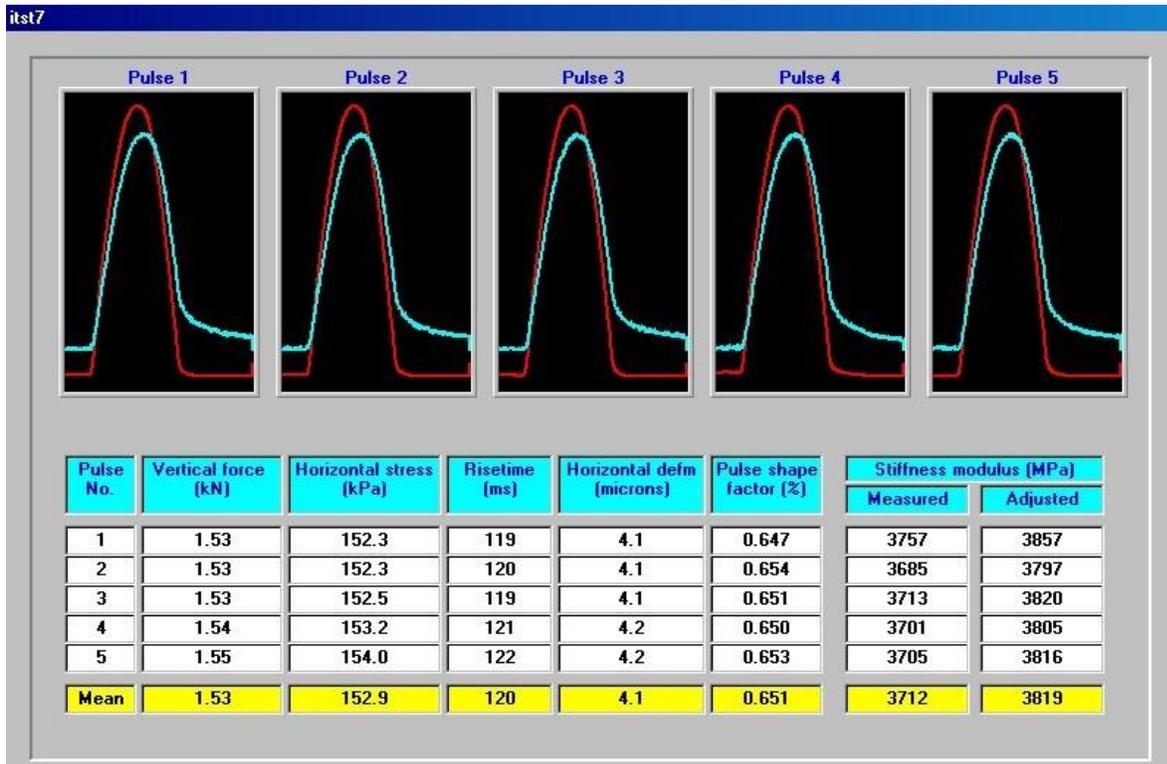
ENSAYOS DE FATIGA: **MEZCLAS CON EMULSION**  
MODULOS A CARGA CONTROLADA  
SS01T20

itst7



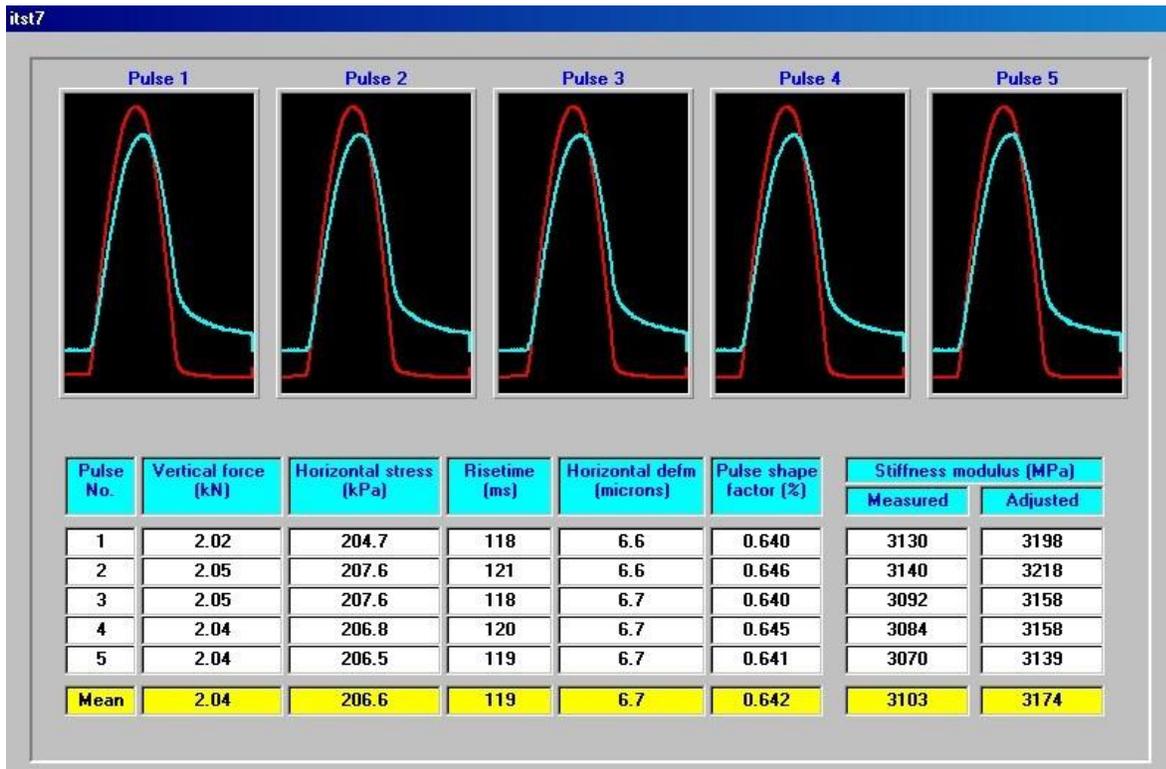
SS02T20

itst7

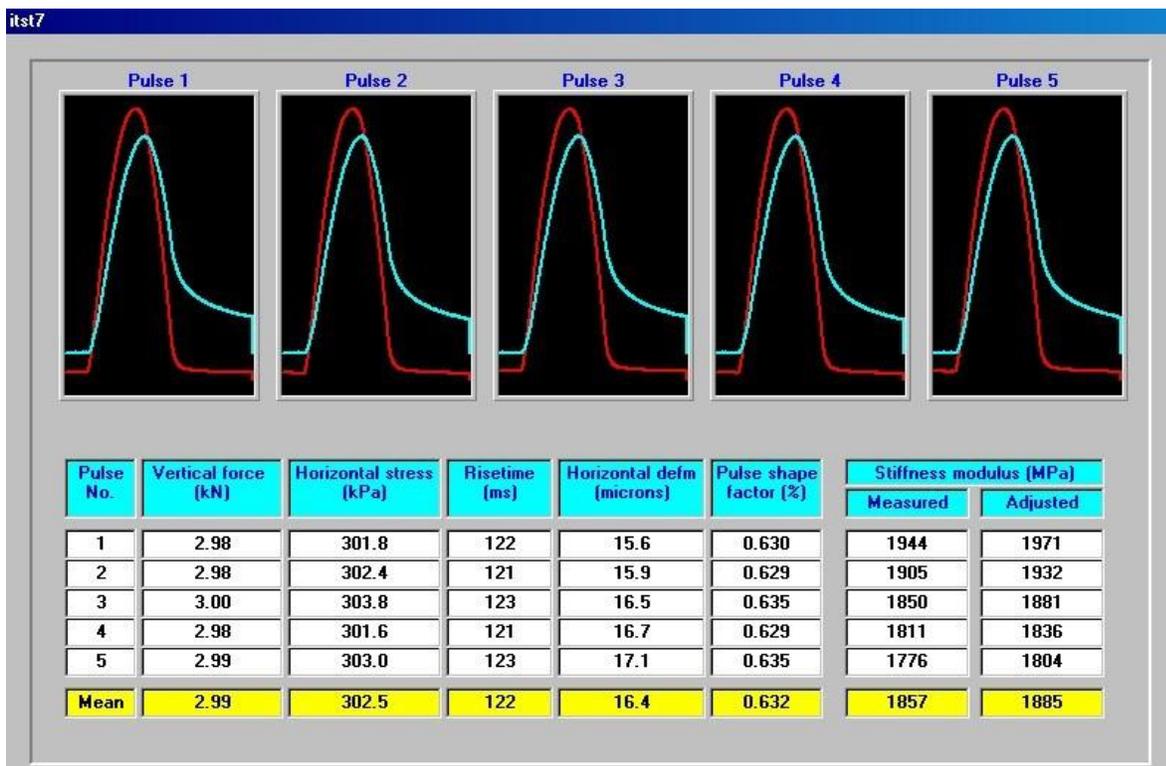




SS03T20



SS04T20





## PRUEBA DE FATIGA

FT01T20\* *Debido a un problema en la electricidad no se puso capturar el momento al final de la prueba de fatiga, por lo que se adjunta el archivo de texto para comprobar la cantidad de golpes.*

Indirect Tensile Fatigue Test

09:07:2013

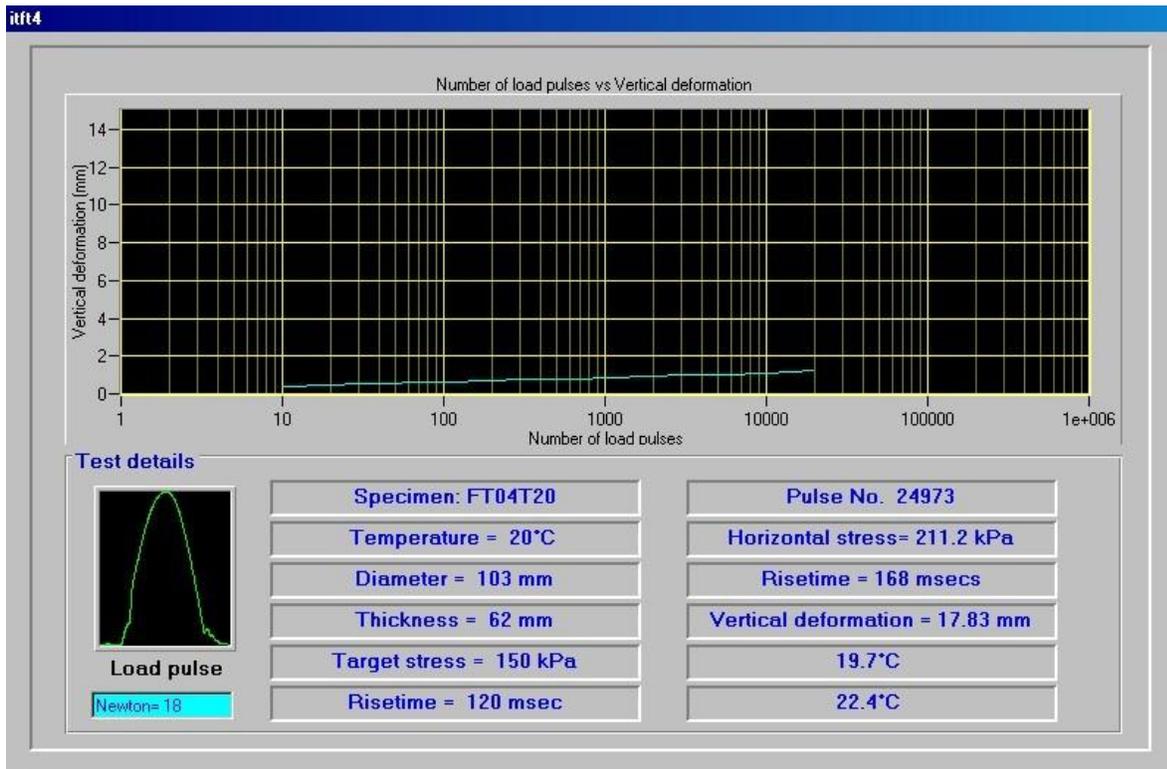
FT02T20

Pulses	V.defm	H.stress	Risetime
10	0.17	103.6	126
10	0.17	103.6	126
47280	0.59	99.8	119
47290	0.59	99.9	123
47300	0.59	100.2	121
47310	0.59	99.9	120
47320	0.60	100.1	119
47330	0.58	99.9	122

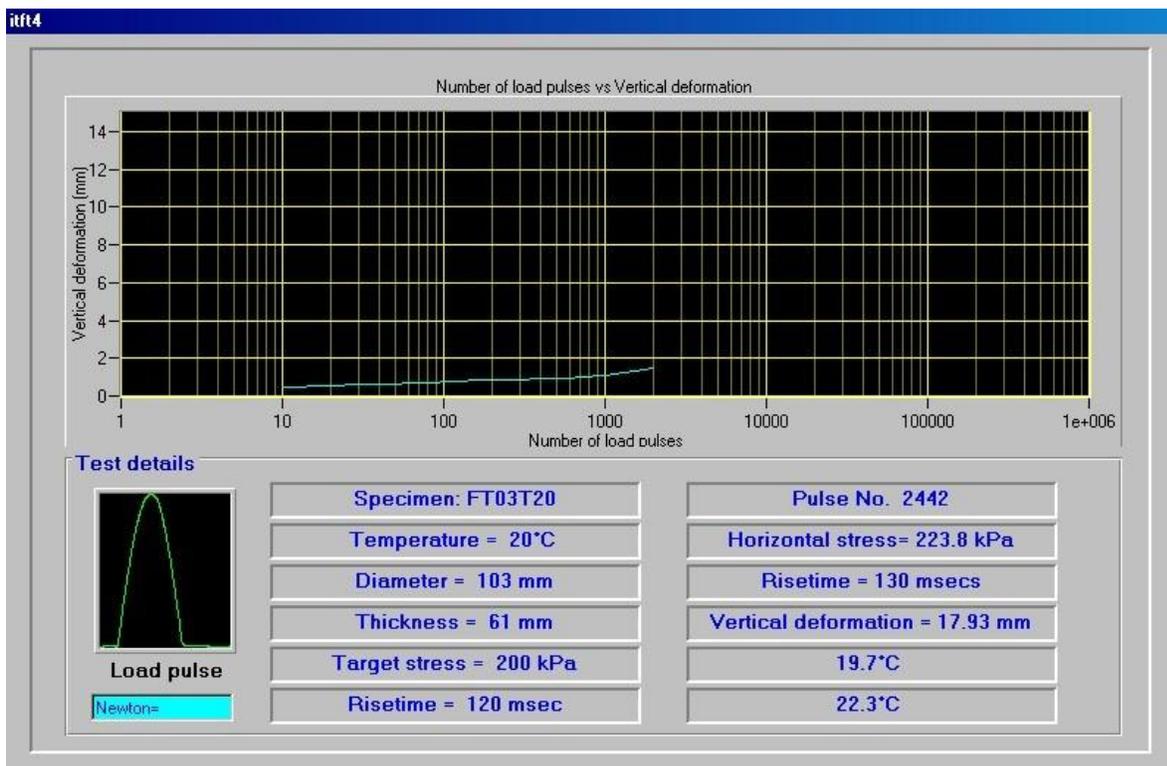
Total de repeticiones: 47330.



FT02T20

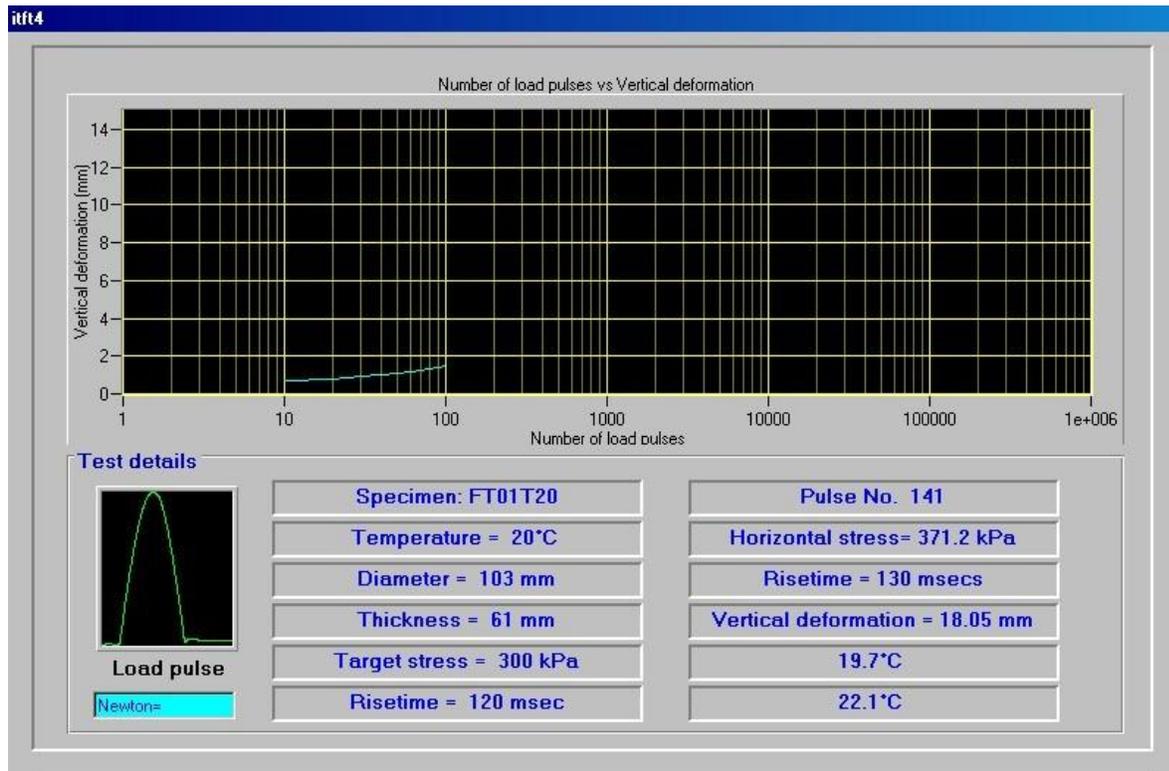


FT03T20





FT04T20





# **ARCHIVOS DE EXCEL RESPALDOS**



## MEZCLAS CON EMULSION

### 1. DENSIDAD TEORICA MAXIMA.

Briquetas Metodo Modificado Illinois (Mezclas con Emulsion)

Total de Briquetas: 4

Numero de Golpes: 50

Briquetas	A	B	C	RICE
	P.frasco + Agua	Frasco + Agua + Material	Peso mezcla Suelta	
1				
2				
3	3094	3634	1000	2,174
4				

### 2. EXTRACCION ASFALTO

Briquetas Metodo Modificado Illinois (Mezclas con Emulsion)

Total de Briquetas: 4

Numero de Golpes: 50

Muestra Nucleo	ANTES		DESPUES		Diferencia (filtros)	W4 Volumen de disolvente empleado (litros)	Gramos de polvo x litro de solvente	Gramos de polvo	% de ASFALTO
	W1	Peso de Filtro	W2	Peso de Filtro					
1									
2									
3	1000	9,0	931	11,0	2,0	3,5	0,8571	3,0	<b>6,40</b>
4									



### 3. GRANULOMETRIA

Tamices	Granulometría Obtenida			Granulometría Original			Diferencia entre preparado y extraído
	Peso Acumulado	% Retenido acumulado	% Pasante Acumulado	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	
3/4"	0	0,00	100,00	0	0	100	0,00
1/2"	100	11,00	89,00	10	10	90	1,00
3/8"	196	21,00	79,00	10	20	80	1,00
N 4	319	34,00	66,00	13,5	33,5	66,5	0,50
N 8	470	50,00	50,00	16,5	50	50	0,00
N 16	606	65,00	35,00	14	64	36	1,00
N 30	675	72,00	28,00	10,5	74,5	25,5	-2,50
N 50	787	84,00	16,00	9,5	84	16	0,00
N 100	844	90,00	10,00	8	92	8	-2,00
N 200	892	95,00	5,00	2	94	6	1,00
Pasante 200	44,5	5,00		6	100	0	
<b>TOTAL :</b>	<b>936,5</b>						



## MEZCLAS CALIENTES

### 1. DENSIDAD TEORICA MAXIMA

Briquetas Metodo Marshall (Mezclas Calientes)

Total de Briquetas: 4

Numero de Golpes: 50

Briquetas	A	B	C	RICE
	P.frasco + Agua	Frasco + Agua + Material	Peso mezcla Suelta	
1				
2				
3	3094	3638	1000	2,193
4				

### 2. EXTRACCION DE ASFALTO

Muestra Nucleo	ANTES		DESPUES		Diferencia (filtros)	W4 Volumen de disolvente empleado (litros)	Gramos de polvo x litro de solvente	Gramos de polvo	% de ASFALTO
	W1	Peso de Filtro	W2	Peso de Filtro					
1									
2									
3	1000	9,2	925,4	10,8	1,6	3,5	0,8571	3,000	<b>7,00</b>
4									



### 3. GRANULOMETRIA

Tamices	Granulometría Obtenida				Granulometría Original			Diferencia entre preparado y extraído
	Peso Acumulado	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante Acumulado	Retenido	%Retenido Acumulado	Pasante Acumulado	
3/4"	0		0,00	100,00	0	0	100	<b>0,00</b>
1/2"	96		10,00	90,00	10	10	90	<b>0,00</b>
3/8"	189		20,00	80,00	10	20	80	<b>0,00</b>
N 4	326		35,00	65,00	13,5	33,5	66,5	<b>1,50</b>
N 8	479		51,00	49,00	16,5	50	50	<b>1,00</b>
N 16	616		66,00	34,00	14	64	36	<b>2,00</b>
N 30	687		74,00	26,00	10,5	74,5	25,5	<b>-0,50</b>
N 50	802		86,00	14,00	9,5	84	16	<b>2,00</b>
N 100	860		92,00	8,00	8	92	8	<b>0,00</b>
N 200	890		96,00	4,00	2	94	6	<b>2,00</b>
Pasante 200	40		4,00		6	100	0	
<b>TOTAL :</b>	<b>930</b>							