

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:**

**“INFLUENCIA DE LOS ASFALTOS MEJORADOS CON  
REJUVENECEDORES EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS  
MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

**AUTORES:**

**Icaza Preciado, Kevin Alberto**

**Mera Intriago, Walter Antonio**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vila Romani, Rolando. PhD.**

**Guayaquil, Ecuador**

**2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Kevin Icaza Preciado y Walter Mera Intriago**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR**

---

**Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

---

**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, MSc.**

**Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Kevin Icaza Preciado y Walter Mera Intriago**

### DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas** previo a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado 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 nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo **experimental e investigativo** referido.

**Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2018**

EL AUTOR

EL AUTOR

---

**Kevin Icaza Preciado**

---

**Walter Mera Intriago**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Kevin Icaza Preciado y Walter Mera Intriago**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2018**

**EL AUTOR:**

**EL AUTOR:**

---

**Kevin Icaza Preciado**

---

**Walter Mera Intriago**

## Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS WALTER MERA INTRIAGO Y KEVIN ICAZA PRECIADO.docx  
(D41018981)  
Submitted: 8/28/2018 6:45:00 PM  
Submitted By: rebeca.gonzalez@cu.ucsg.edu.ec  
Significance: 5 %

### Sources included in the report:

TESIS HIDALGO-RIERA (versión URKUND).docx (D18241567)  
TRABAJO DE TITULACIÓN - EVALUACIÓN DEL DAÑO POR HUMEDAD EN TRES MEZCLAS  
ASFÁLTICAS DE LA REGIÓN SIERRA (GA RCÉS) . final.docx (D21578176)  
TESIS DE CHRISTIAN GARCIA Y JORGE GARZOZI.docx (D35972470)  
TESIS VERDEZOTO CARLOS LUIS.docx (D21955418)

### Instances where selected sources appear:

16

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, un agradecimiento muy especial a mi mamá la Ingeniera Marlene Preciado Soto que es y será un pilar fundamental en mi vida, dándome su apoyo incondicional en todo momento.

También agradezco al doctor Rolando Vila por ser mi tutor y guía durante estos 4 meses que fueron esenciales para culminar exitosamente mi carrera como ingeniero civil. Además, agradezco al ingeniero José Jaramillo que sin su amistad, apoyo y tiempo no hubiéramos podido avanzar con este proyecto.

También agradezco a mis compañeros del laboratorio Walter Mera y María Fernanda Farah por brindarme su apoyo y motivarme en todo este tiempo para llegar a la meta, que al final lo logramos.

Por último, quisiera agradecerle a mi novia y a todas las personas que estuvieron a lo largo de este camino, brindándome su apoyo para alcanzar esta meta.

**Kevin Icaza Preciado**

Agradezco a toda mi familia que siempre ha confiado en mí y me ha respaldado en todos mis logros. Por otra parte, agradezco a aquellas personas que han hecho posible este éxito personal; al Dr. Rolando Vila que ha sido un mentor incondicional a lo largo de este trabajo, al Ing. José Jaramillo que me ha brindado su ayuda tanto como colega y como amigo, a mis compañeros del laboratorio Kevin Icaza y María Fernanda Farah y además a mi novia.

**Walter Mera Intriago**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mi mamá, Ingeniera Marlene Preciado Soto. Que sin su constante apoyo y esfuerzo no hubiera tenido el privilegio de culminar mi carrera; una carrera que visualice desde muy pequeño al verla a ella, que me aventuro a seguir sus pasos.

A mi abuelita Rosa y a un angelito, que desde el cielo cuidan cada uno de mis pasos y sé que se sentirían orgullosos de este logro. Que Dios los cuide y los tenga en su gloria.

**Kevin Icaza Preciado**

Este logro va dedicado a mis padres, que han sido guía y luz durante toda mi vida.

**Walter Mera Intriago**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA CIVIL**

---

**Ing. Vila Romaní, Rolando. PhD.**

**TUTOR**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Lilia Valarezo Moreno. MSc.**

**DECANA DE INGENIERIA**

---

**Ing. Guillermo Ponce Vázquez. MSc.**

**DOCENTE DE LA CARRERA**

---

**Ing. Federico von Buchwald Jánon. MSc.**

**OPONENTE**

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>2</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Razones que motivaron el estudio .....	3
1.3. Justificación del tema .....	3
1.4. Objetivos.....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos .....	4
1.5. Alcance.....	4
1.6. Metodología .....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ACEITES REJUVENECEDORES.....	6
2.1 Cemento asfáltico .....	6
2.2 Aceites rejuvenecedores.....	7
2.2.1 Proceso de mezclado.....	8
2.2.2 Secuencia de mezclado .....	9
2.2.3 Clasificación por grado de viscosidad de las combinaciones elaboradas .....	9
2.3 Agregados minerales, características y pruebas.....	12
2.3.1 Características de los agregados en mezclas asfálticas.....	12
2.3.2 Exigencias de calidad de los agregados en el Ecuador .....	14
2.4 Mezclas asfálticas.....	14
2.4.1 Parámetros volumétricos.....	15
2.4.2 Parámetros de resistencia.....	21

2.4.3	Pruebas para evaluar el daño en agua.....	22
2.4.4	Pruebas de desempeño con el equipo Nottingham Asphalt Tester – NU 10 (NAT) .....	24
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>29</b>
3.1	Metodología de trabajo .....	29
3.2	Proceso de elaboración de briquetas .....	29
3.3	Distribución de briquetas .....	33
3.4	Metodología de saturación.....	35
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	<b>37</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	Resultados de los ensayos Marshall.....	37
4.2	Resultados del daño en agua mediante el ensayo de TSR.....	45
4.3	Resultados del ensayo de módulo de rigidez.....	52
4.4	Resultados del ensayo de deformación permanentes bajo compresión cíclica uniaxial (Creep).....	61
4.5	Resultado del ensayo Fatiga.....	68
<b>CAPÍTULO V</b>	.....	<b>75</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
5.1	Conclusiones .....	75
5.2	Recomendaciones .....	76
<b>CAPÍTULO VI</b>	.....	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO VII</b>	.....	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Clasificación por viscosidad .....	7
Tabla 2. 2 Combinaciones de mezclas a elaborar .....	8
Tabla 2. 3 Clasificación por grado de viscosidad PG 64-22 .....	9
Tabla 2. 4 Clasificación por grado de viscosidad PG 64-28 .....	10
Tabla 2. 5 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 2.....	10
Tabla 2. 6 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 3.....	10
Tabla 2. 7 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 4.....	11
Tabla 2. 8 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 5.....	11
Tabla 2. 9 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 6.....	11
Tabla 2. 10. Exigencias para las pruebas de control del agregado .....	14
Tabla 2. 11 Porcentaje de pasantes para capas de rodadura en los pavimentos asfálticos del Ecuador.....	16
Tabla 2. 12 Gravedades específicas promedios de las combinaciones .....	18
Tabla 2. 13 Gravedad específica máxima de las combinaciones .....	19
Tabla 2. 14 Porcentaje de vacíos obtenidos en las combinaciones .....	20
Tabla 3. 1 Distribución de briquetas.....	34
Tabla 4. 1 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 1 .....	37
Tabla 4. 2 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 2 .....	38
Tabla 4. 3 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 3 .....	39
Tabla 4. 4 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 4 .....	40
Tabla 4. 5 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 5 .....	41
Tabla 4. 6 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 6 .....	42
Tabla 4. 7 Comparación de las mezclas mediante el ensayo Marshall .....	43
Tabla 4. 8 Resultados de daño en agua en la Combinación 1 .....	45
Tabla 4. 9 Resultados de daño en agua en la Combinación 2 .....	46
Tabla 4. 10 Resultados de daño en agua en la Combinación 3 .....	47
Tabla 4. 11 Resultados de daño en agua en la Combinación 4 .....	48
Tabla 4. 12 Resultados de daño en agua en la Combinación 5 .....	49
Tabla 4. 13 Resultados de daño en agua en la Combinación 6 .....	50

Tabla 4. 14 Comparación de las mezclas mediante el ensayo TSR.....	51
Tabla 4. 15 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 1 .....	53
Tabla 4. 16 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 2 .....	54
Tabla 4. 17 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 3 .....	55
Tabla 4. 18 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 4 .....	56
Tabla 4. 19 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 5 .....	57
Tabla 4. 20 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 6 .....	58
Tabla 4. 21 Valores promedios en las pruebas de módulo de rigidez .....	59
Tabla 4. 22 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 1 .....	61
Tabla 4. 23 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 2 .....	62
Tabla 4. 24 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 3 .....	63
Tabla 4. 25 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 4 .....	64
Tabla 4. 26 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 5 .....	65
Tabla 4. 27 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 6 .....	66
Tabla 4. 28 Tabla de comparación del promedio en el ensayo Creep.....	67
Tabla 4. 29 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 1 .....	68
Tabla 4. 30 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 2 .....	69
Tabla 4. 31 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 3.....	70
Tabla 4. 32 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 4.....	71
Tabla 4. 33 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 5.....	72
Tabla 4. 34 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 6.....	73

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2. 1 Curva de granulometría combinada .....	16
Figura 2. 2 Salida de resultado en ensayo módulo de rigidez .....	25
Figura 2. 3 Salida de resultado en ensayo módulo de rigidez .....	26
Figura 2. 4 Salida de resultado en ensayo fatiga .....	27
Figura 2. 5 Salida de resultados en ensayo Creep .....	28
Figura 3. 1 Agregados en el horno.....	29
Figura 3. 2 Batch y molde en el horno .....	30
Figura 3. 3 Toma de temperatura a cemento asfáltico .....	30
Figura 3. 4 Mezcla de agregados con asfalto.....	31
Figura 3. 5 Batch mezclado en el horno.....	31
Figura 3. 6 Elaboración de briqueta .....	32
Figura 3. 7 Toma de temperatura de compactación.....	32
Figura 3. 8 Desmolde de briqueta.....	33
Figura 3. 9 Muestra de briquetas elaboradas .....	34
Figura 3. 10 Determinación de los pesos.....	35
Figura 3. 11 Saturación de briqueta .....	36
Figura 3. 12 Briquetas en baño María.....	36
Figura 4. 1 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 1 .....	37
Figura 4. 2 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 2 .....	38
Figura 4. 3 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 3 .....	39
Figura 4. 4 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 4 .....	40
Figura 4. 5 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 5 .....	41
Figura 4. 6 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 6 .....	42
Figura 4. 7 Gráfico de los valores promedios de estabilidad Marshall.....	43
Figura 4. 8 Gráfico de barras de los promedios de Flujo.....	44
Figura 4. 9 Gráfico de barras de la resistencia a compresión .....	51
Figura 4. 10 Comparación de los porcentajes de resistencia retenido .....	52

Figura 4. 11 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 1.....	53
Figura 4. 12 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 2.....	54
Figura 4. 13 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 3.....	55
Figura 4. 14 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 4.....	56
Figura 4. 15 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 5.....	57
Figura 4. 16 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 6.....	58
Figura 4. 17 Gráfico de los valores promedios de módulo de rigidez .....	59
Figura 4. 18 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 1 .....	61
Figura 4. 19 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 2 .....	62
Figura 4. 20 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 3 .....	63
Figura 4. 21 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 4 .....	64
Figura 4. 22 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 5 .....	65
Figura 4. 23 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 6 .....	66
Figura 4. 24 Gráfico comparativo de promedios en el ensayo Creep .....	67
Figura 4. 25 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 1 .....	68
Figura 4. 26 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 2 .....	69
Figura 4. 27 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 3 .....	70
Figura 4. 28 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 4 .....	71
Figura 4. 29 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 5 .....	72
Figura 4. 30 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 6 .....	73
Figura 4. 31 Curva de fatiga en las diferentes combinaciones .....	74

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Densidades y porcentajes de vacíos promedios .....	79
Anexo 2 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 1° Combinación .....	81
Anexo 3 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 2° Combinación .....	82
Anexo 4 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 3° Combinación .....	84
Anexo 5 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 4° Combinación .....	85
Anexo 6 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 5° Combinación .....	87
Anexo 7 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 6° Combinación .....	88
Anexo 8 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 1° Combinación.....	90
Anexo 9 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 2° Combinación.....	91
Anexo 10 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 3° Combinación.....	93
Anexo 11 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 4° Combinación.....	94
Anexo 12 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 5° Combinación.....	96
Anexo 13 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 6° Combinación.....	97
Anexo 14 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 1° Combinación.....	99
Anexo 15 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 2° Combinación.....	102
Anexo 16 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 3° Combinación.....	105

Anexo 17 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 4° Combinación.....	108
Anexo 18 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 5° Combinación.....	111
Anexo 19 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 6° Combinación.....	114

## Resumen

Los aditivos rejuvenecedores son utilizados comúnmente en el reciclado de mezclas asfálticas. Algunos trabajos preliminares desarrollados en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil también han mostrado resultados prometedores como aditivos aplicados directamente a los asfaltos ecuatorianos, para mejorar sus propiedades luego de envejecidos.

El objetivo del trabajo que se presenta es evaluar, de manera experimental, el efecto del empleo de asfaltos mejorados con agentes rejuvenecedores en el comportamiento de mezclas asfálticas en cuya elaboración se mantienen constantes las características del esqueleto pétreo, para a partir de las comparaciones valorar el papel práctico de dichos agentes.

Se emplearon dos tipos de asfaltos ecuatorianos: PG 64-22 y PG 64-28, mezclados con diferentes rejuvenecedores (Hydrolene, Sylvaroad y Danox) y un aceite base, variando el tipo y las proporciones en las seis combinaciones realizadas. Se seleccionó un tipo de mezcla densa con agregados minerales basálticos y 5.5% de asfalto para dichas combinaciones. A las mezclas confeccionadas se le aplicaron pruebas de estabilidad Marshall y flujo, módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga. Además, se evaluó el daño en agua a través de la resistencia retenida a tracción indirecta.

El estudio evidenció que al emplear asfaltos con rejuvenecedores el comportamiento a la fatiga de la mezcla mejoró notablemente. No obstante, el daño en agua en tres de las seis mezclas analizadas alcanzó niveles inadecuados. En general la mezcla donde se empleó como rejuvenecedor el Sylvaroad fue la de mejor desempeño.

**Palabras Claves:** *Rejuvenecedores, envejecimiento, asfalto, mezcla asfáltica, Sylvaroad, Danox, Hydrolene.*

## **Abstract**

Recycling additives are commonly used for reclaiming asphalt paving mixes. Some preliminary studies developed at the Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, show promising results by applying the additives directly to Ecuadorian asphalt in order to enhance its properties once it has aged.

This study's objective is to evaluate, experimentally, the effect of using enhanced asphalts with recycling additives on the asphalt's mix behavior, while keeping the aggregate's characteristics, and compare the results to determine the agent's practical value in real life situations.

Two Ecuadorian asphalts were used, PG 64-22 and PG 64-28, and were mixed with different kinds of recycling additives (Hydrolene, Sylvaroad y Danox) and with one base oil, while varying the proportions applied on the six developed combinations. A compact mix was selected with basaltic mineral aggregates and an asphalt percentage of 5.5 for each combination. Laboratory tests of Marshall stability, stiffness modulus, uniaxial cyclic compression test and fatigue were applied to asphalt mix specimens. Besides, the damage due to water was evaluated through retain resistance using TSR.

The study showed that using asphalt with recycling additives enhanced the performance to fatigue of the asphalt mix. Nevertheless, the damage by water in three out of six mixes reached inadequate results. In general, the mix where the additive Sylvaroad was used, had a better performance than the others.

**Keywords:** *Recycling additives, aging, asphalt, asphalt mix, Sylvaroad, Danox, Hydrolene.*

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

El comportamiento de las mezclas asfálticas está relacionado con las propiedades del agregado mineral y del cemento asfáltico, así como la interacción entre ambas. Para el control de calidad de las mezclas asfálticas elaboradas en planta en el Ecuador, utilizamos los criterios del método de diseño Marshall (Institute, Principios de la Construcción de pavimento de mezclas asfálticas en caliente MS-22, 1992) y adicionalmente se evalúa el daño en agua mediante resistencia a la tracción indirecta retenida en briquetas o el ensayo de peladura en agua hirviendo para la evaluación del daño por humedad, indicados en las especificaciones técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE). Sin embargo, a pesar de cumplir con estas especificaciones se puede observar carreteras que a los pocos años de ser construidas o rehabilitadas presentan grandes deterioros.

Los agrietamientos por fatiga o en bloques son los tipos de daños más comunes en los pavimentos flexibles del país, esto se puede atribuir en parte a que la mayoría del asfalto utilizado proviene de la Refinería de Esmeraldas, el cual tiene la particularidad de ser proclive al envejecimiento prematuro y por ende a una baja durabilidad. Además, en ocasiones a los agregados minerales no se les realiza un control de calidad sistemático

Investigaciones desarrolladas en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), han demostrado resultados prometedores en el uso de rejuvenecedores para disminuir las posibilidades de envejecimiento prematuro. Estos aditivos son utilizados comúnmente en el reciclado de mezclas asfálticas envejecidas y deterioradas, reponiendo los elementos que se han perdido por los procesos de oxidación, volatilización, etc., durante el proceso de fabricación más el tiempo de explotación.

## **1.2. Razones que motivaron el estudio**

Es conocido que los pavimentos flexibles en el país a los pocos años de ser construidos o rehabilitados presentan diversos tipos de deterioros, a pesar de que el MTOP ha realizados grandes esfuerzos para tener carreteras que se desempeñen de buena manera durante el periodo para el cual fueron diseñadas. Por tal razón, es importante continuar investigando sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas y las componentes que lo conforman, con el fin de contribuir con el desarrollo y mejoramiento de las carreteras del país.

## **1.3. Justificación del tema**

Las mezclas asfálticas elaboradas con el asfalto procedente de la Refinería de Esmeraldas comúnmente presentan la llamada “piel de cocodrilo” o agrietamiento en bloque, lo cual podría deberse al fuerte envejecimiento que se produce durante el proceso de mezclado, transporte y compactación. Investigaciones que se han desarrollado en el Laboratorio de Carreteras de la Facultad de Ingeniería de la UCSG, han demostrado que el uso de aditivos rejuvenecedores en el cemento asfáltico disminuye la intensidad del envejecimiento y permite tener asfaltos menos rígidos.

Por tal razón, se hace necesario emplear asfaltos modificados con dichos productos en la elaboración de mezclas asfálticas, lo que permitiría analizar el comportamiento ante las diferentes fallas de dichas mezclas mejoradas.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar, de manera experimental, el efecto del empleo de asfaltos mejorados con agentes rejuvenecedores en el comportamiento de mezclas asfálticas en cuya elaboración se mantienen constantes las características del esqueleto

pétreo, para a partir de las comparaciones valorar el papel práctico de dichos agentes.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar los basamentos teóricos y experimentales del uso de rejuvenecedores en mezclas asfálticas.
- Desarrollar pruebas convencionales a las combinaciones de mezclas elaboradas: estabilidad Marshall y flujo, módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga; utilizando dos tipos de asfaltos: PG 64-22 y PG64-28 producidos en la Refinería Esmeraldas modificados con diferentes rejuvenecedores.
- Analizar el efecto de los agentes rejuvenecedores en las mezclas en sus distintas combinaciones.
- Comparar los resultados de las propiedades evaluadas entre las diferentes combinaciones de mezcla con las exigencias del país empleando criterios estadísticos.

### **1.5. Alcance**

Se estudiará la incidencia de los rejuvenecedores a partir de mezclar, en diferentes proporciones, un aceite lubricante de producción nacional y un agente rejuvenecedor importado, aplicados a los dos asfaltos usuales producidos en la Refinería Esmeraldas, en un tipo de mezcla asfáltica convencional empleada en el país.

### **1.6. Metodología**

El presente trabajo de titulación está compuesto por una parte teórica y otra experimental, la cual consta de realizar una serie de pruebas a diferentes mezclas con el mismo esqueleto pétreo, pero variando el contenido de rejuvenecedores y aceites en el cemento asfáltico. El trabajo de titulación está compuesto por cuatro etapas, las cuales se mencionan a continuación:

1. Marco teórico.

2. Elaboración de las muestras a ensayar (briquetas).
3. Desarrollo experimental.
4. Análisis de resultados.

Cada etapa cuenta con temas y procedimientos definidos, dentro de los cuales se pueden encontrar los siguientes:

1. Marco teórico:
  - Estudio bibliográfico.
  - Descripción de los ensayos a realizar
2. Elaboración de briquetas:
  - Dosificación a utilizar
  - Proceso de mezclado.
  - Fabricación de los cilindros correspondiente a las diferentes mezclas asfálticas.
  - Determinación de las densidades de los diferentes cilindros realizados.
3. Desarrollo experimental:
  - Ensayo Marshall.
  - Ensayo de Tracción indirecta.
  - Realización de las pruebas de desempeño (módulo de rigidez fatiga y creep)
4. Análisis de resultados:
  - Correlación entre los resultados obtenidos
  - Conclusiones.
  - Recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ACEITES REJUVENECEDORES**

#### **2.1 Cemento asfáltico**

El asfalto es un material de color negro con propiedades cementantes que está compuesto en su mayoría por hidrocarburos. Se obtiene por medio del refinamiento de petróleo en estado crudo utilizando el proceso de destilación fraccionada. Su comportamiento depende de dos variables: la temperatura y el tiempo de carga.

Para caracterizar este aglutinante es necesario que las características retraten su comportamiento mecánico. Según algunos autores (Institute, The Asphalt Handbook, 2008) las propiedades mecánicas de este material se ven severamente afectadas conforme transcurre el tiempo mediante un fenómeno llamado envejecimiento. Algunos factores influyen en la perturbación de estas propiedades, entre ellos están: cualquier forma de manipulación que requiera utilizar una fuente significativa de calor, la exposición a los elementos atmosféricos mientras se encuentra en servicio, entre otros. Tanto el recalentamiento como el intemperismo provocan una rigidización en el asfalto que podría catalogarse como envejecimiento.

Varias investigaciones han encontrado una relación directa entre el estado de envejecimiento del asfalto y la aparición de grietas de bloques o fallas por fatiga, que evidencian una mala durabilidad. Esto se debe a que el material en este estado presenta una disminución de su componente viscosa, haciendo que la componente elástica predomine casi sin permitir deformaciones, lo que conlleva a posibles agrietamientos.

Para el control de los cementos asfálticos en el Ecuador se debe considerar la normativa del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014), ENMIENDA 1, ver Tabla 2.1.

**Tabla 2. 1 Clasificación por viscosidad**

Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad										Norma de ensayo
		AC-6		AC-10		AC-20		AC-30		AC-42		
		Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	
Viscosidad absoluta, 60 °C	Pa s	60 ± 20		100 ± 20		200 ± 40		300 ± 60		420 ± 60		ASTMD 2171
Viscosidad cinemática, 135 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	175	--	250	--	300	--	350	--	400	--	ASTMD 2170
Punto de Inflamación	°C	177	--	219	--	232	--	232	--	232	--	NTE INEN 808
w, Solubilidad en tricloroetileno, <sup>c</sup>	%	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	99,0	--	NTE INEN 915
Gravedad específica 25 °C/25 °C		Informe		Informe		Informe		Informe		Informe		ASTMD70
Índice de Penetración <sup>b</sup>		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		-1,5 a +1		ASTM D5/D5M
Residuo de ensayos de película fina en horno rotatorio:												
Viscosidad, 60 °C	Pa s	--	300	--	500	--	800	--	1 200	--	2 000	ASTMD 2171
Cambio de masa,	% w/w	--	1,5	--	1,0	--	1,0	--	1,0	--	1,0	ASTMD 2872
Ductilidad <sup>a</sup> , 25 °C [77 °F], 5 cm/min	cm	100	--	75	--	50	--	40	--	25	--	NTE INEN 916
<sup>a</sup> Si la ductilidad es menor a 100, el material debe ser aceptado, solo si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 a una velocidad de tiro de 5 cm/min. <sup>b</sup> Índice de penetración = $\frac{1952-500 \log pen-20 SP}{50 \log pen-SP-120}$ donde: pen = penetración a 25 °C, 100 g, 5 s SP = punto de ablandamiento (°C) ASTM D36												
<sup>c</sup> Solubilidad en bromuro de propilo N puede ser un método alternativo a la solubilidad en TCE.												

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2014.

## 2.2 Aceites rejuvenecedores

Los rejuvenecedores son aditivos que se encargan de proporcionar al asfalto envejecido los componentes perdidos de tal forma que recupera sus propiedades originales, además de crear un reacomodo en el asfalto disminuyendo la permeabilidad al agua y al aire. (Sanabria, Correa, Hernandez, & Morales, 2000)

Tal como se mencionó, el envejecimiento del cemento asfáltico incide directamente en la durabilidad de este, provocando micro fisuras que permiten el ingreso de agentes externos que causan oxidación en el material.

Estos aditivos son utilizados comúnmente en el reciclado de mezclas asfálticas envejecidas y deterioradas reponiendo los elementos que se han perdido por los mecanismos de oxidación, volatización, etc., durante el proceso de fabricación más el tiempo de explotación. Además, recupera las

resinas aromáticas perdidas reacomodando sus partículas e impermeabilizando la mezcla, y por ende aislándola del aire y del agua. Otro beneficio es la disminución del desprendimiento de agregado y la erosión excesiva.

### 2.2.1 Proceso de mezclado

Para el presente trabajo de investigación se emplearon tres tipos de rejuvenecedores, dos de origen norteamericano y uno de origen nipón, los cuales fueron mezclados directamente con el asfalto.

Las cantidades seleccionadas de rejuvenecedor fueron obtenidas en investigaciones anteriores escogiendo porcentajes que cumplan con los valores mínimos de viscosidad y ductilidad después del envejecimiento en el horno de película delgada rotatorio (RTFO, por sus siglas en inglés).

Además, en ciertas combinaciones se buscó incluir un aceite de producción nacional el cual permita obtener una mezcla económicamente competitiva, sin comprometer las propiedades del cemento asfáltico. A este material se lo denominará 'Aceite base'.

**Tabla 2. 2 Combinaciones de mezclas a elaborar**

Combinaciones de asfalto	Asfalto PG 64-22	Asfalto PG 64-28	Rejuvenecedor Hydrolene	Rejuvenecedor Sylvaroad	Rejuvenecedor Danox	Aceite Base
1	100%	0%	0%	0%	0%	0%
2	95%	0%	0%	0%	0%	5%
3	95%	0%	2,5%	0%	0%	2,5%
4	0%	95%	2,5%	0%	0%	2,5%
5	97,5%	0%	0%	2,5%	0%	0%
6	97,5%	0%	0%	0%	2,5%	0%

Fuente: Autores

## 2.2.2 Secuencia de mezclado

1. Seleccionar la cantidad de asfalto a mezclar.
2. Calcular la cantidad de aceite y/o rejuvenecedor.
3. Calentar tanto el asfalto como el aceite y el rejuvenecedor a una temperatura entre 145°C-150°C.
4. Añadir la cantidad respectiva de rejuvenecedor.
5. Mezclar durante 15 minutos los elementos manteniendo una temperatura constante de 150°C.

Para la realización del mezclado se considerarán las medidas de seguridad necesarias. Esto quiere decir que se utilizó guantes para evitar contacto directo con las sustancias y mascarillas para evitar inhalar vapores tóxicos.

## 2.2.3 Clasificación por grado de viscosidad de las combinaciones elaboradas

**Tabla 2. 3 Clasificación por grado de viscosidad PG 64-22**

ASTM D-3381-92							
100 % ASF PG 64 - 22							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	<b>235</b>
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	<b>343</b>
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	<b>290</b>
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	<b>1,0132</b>
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	<b>49,5</b>
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	<b>67,7</b>
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	<b>-0,60</b>
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	<b>1315,0</b>
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	<b>0,049</b>
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	<b>25,0</b>

**Tabla 2. 4 Clasificación por grado de viscosidad PG 64-28**

ASTM D-3381-92							
100% ASF PG 64 - 28							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	<b>220</b>
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	<b>341</b>
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	<b>286</b>
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	<b>1,0123</b>
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	<b>51,0</b>
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	<b>64,6</b>
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	<b>-0,33</b>
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	<b>1497</b>
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	<b>0,055</b>
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	<b>28,5</b>

**Tabla 2. 5 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 2**

ASTM D-3381-92							
95% ASF PG 64 - 22 + 5% DE ACEITE BASE							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	<b>122</b>
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	<b>347</b>
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	<b>279</b>
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	<b>1,004</b>
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	<b>74,0</b>
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	<b>49,2</b>
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	<b>-0,4</b>
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	<b>683</b>
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	<b>0,352</b>
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	<b>51</b>

**Tabla 2. 6 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 3**

ASTM D-3381-92							
95% ASF PG 64 - 22 + 2,5% ACEITE BASE + 2,5% REJUVENECEDOR HYDROLENE							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	<b>125</b>
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	<b>270</b>
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	<b>282</b>
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	<b>1,01</b>
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	<b>72,0</b>
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	<b>48,4</b>
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	<b>-0,7</b>
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	<b>468</b>
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	<b>0,232</b>
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	<b>63</b>

**Tabla 2. 7 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 4**

ASTM D-3381-92							
95% ASF PG 64 - 28 + 2,5% ACEITE BASE + 2,5% REJUVENECEDOR HYDROLENE							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	97
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	127
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	286
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	1,0102
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	48,0
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	64,6
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	-0,33
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	245
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	0,055
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	53

**Tabla 2. 8 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 5**

ASTM D-3381-92							
97,5% ASF PG 64-22 + 2,5% Sylvaroad							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	100
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	277
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	305
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	1,0114
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	47,0
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	100,3
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	-0,33
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	716
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	0,063
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	55,5

**Tabla 2. 9 Clasificación por grado de viscosidad en combinación 6**

ASTM D-3381-92							
97,5% ASF PG 64-22 + 2,5% Danox							
PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	AC 20		AC 30		RESULTADO
			mín	máx	mín	máx	
<b>LIGANTE ORIGINAL</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	160	240	240	360	89
Viscosidad cinemática, 135°C	mm 2/s	ASTM D 2170	300	-	350	-	238
Punto de Inflamación	°C	NTE INEN 808	232	-	232	-	260
Grav. Específica 25°C/25°C	-	ASTM D 70	-	-	-	-	1,0085
Punto de Ablandamiento	°C	ASTM D-5	-	-	-	-	45,5
Penetración, 25°C, 100g, 5s	0,1 mm	ASTM D-36	60	-	50	-	123,7
Índice de penetración		ASTM D 5/D5/M	-1,5	1,0	-1,5	1,0	-0,33
<b>ENVEJECIMIENTO PRIMARIO RTFOT</b>							
Viscosidad dinámica, 60°C	Pa,s	ASTM D 2171	-	800	-	1200	355
Cambio de masa	% w/w	ASTM D 2872	-	1	-	1	0,459
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	cm	NTE INEN 916	50	-	40	-	84,3

## **2.3 Agregados minerales, características y pruebas**

En la elaboración de una mezcla asfáltica un papel fundamental lo presentan los agregados minerales, que constituyen entre el 88% y el 96% del peso de la mezcla y siendo el porcentaje de asfalto entre el 3 y el 7 %.

### **2.3.1 Características de los agregados en mezclas asfálticas**

Los agregados minerales son un aglomerado de partículas inertes procedentes fundamentalmente de rocas trituradas o fragmentadas que deben presentar ciertas características como son: tamaño, forma, dureza, limpieza, capacidad de adherencia con el asfalto para su empleo adecuado en mezclas asfálticas.

#### **2.3.1.1 Tamaño**

Según su tamaño los agregados minerales utilizados en mezcla asfáltica se clasifican en:

- ❖ Agregado grueso: son los agregados que se retienen en el tamiz #4 es decir con un diámetro mayor a 4,75 mm. Para mezcla asfáltica el tamaño máximo de estos agregados gruesos suele ser  $1\frac{1}{2}$ "
- ❖ Agregado fino: Son aquellos que pasan el tamiz #4 (4,75mm) y se retienen en el tamiz #200 con un diámetro de 0,075mm.
- ❖ Fillers: Son los pasantes del tamiz #200 y para ser considerados fillers deben tener un índice plástico igual a 0 (IP=0) es decir que no experimenten plasticidad en contacto con el agua.

#### **2.3.1.2 Forma**

Este es un parámetro importante por considerar debido a que la forma del agregado puede influir positivamente en la mezcla o en su defecto perjudicarla. Entre varias de las formas de los agregados se encuentran:

redondeadas, angulares, alargadas e irregulares, y los ensayos para determinar son: caras fracturadas, angularidad, planas y alargadas.

#### **2.3.1.3 Dureza**

Los agregados resisten la abrasión y degradación, es decir que dan la duración en tiempo de vida de los pavimentos una vez colocados. Por ende, un agregado con dureza superior presentará un mejor rendimiento. Este parámetro se determina por medio de los ensayos de abrasión de los ángeles y sulfatos.

#### **2.3.1.4 Limpieza**

Para que haya una buena interacción del agregado con el asfalto este debe quedar sin polvo y sin partículas orgánicas. Se puede determinar si un agregado es apto por medio de los ensayos de deletéreos, equivalente de arena e índice de plasticidad.

#### **2.3.1.5 Adherencia**

Depende de una serie de propiedades que a continuación se detallará.

##### ❖ Capacidad de absorción

De ella depende la cantidad de asfalto que se requiere adicionar a la mezcla para obtener el resultado deseado. El asfalto forma una película ligante sobre los agregados una vez producida la mezcla asfáltica, de tal manera que si los agregados son muy porosos se va a necesitar mayor cantidad de asfalto. Esto se debe a que el agregado absorbe el asfalto quedando menos partículas de ligadura, lo que puede llevar a una inminente falla. Además, se requiere de un proceso selectivo en donde se prefiere evitar la utilización de agregados porosos ya que comúnmente evitan la producción de la película de ligadura entre partículas. Se puede comprobar por medio de los ensayos de

resistencia retenida ante el agua en prueba de tracción indirecta y ensayo de peladura de la mezcla en agua hirviendo.

❖ **Afinidad con el asfalto**

Esta característica habla de la capacidad que posee el agregado para absorber o rechazar las moléculas de agua de su superficie. A esto se lo puede caracterizar de 2 formas: hidrofóbico (si puede retener) e hidrofílico (si no puede retener).

### 2.3.2 Exigencias de calidad de los agregados en el Ecuador

En la Tabla 2.3 se expone una pequeña sinopsis de las pruebas correspondientes a agregados minerales con sus respectivas exigencias para mezclas asfálticas vigentes que presenta el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (MOP, 2002)

**Tabla 2. 10. Exigencias para las pruebas de control del agregado mineral**

PRUEBAS	Agregados	
	Gruesos	Finos
FORMA	Caras fracturadas (>80% -2) Planas y alargadas (<10%)	Angularidad (>45%)
DUREZA	Abrasión los ángeles (>40%) Sulfatos (<12%)	Sulfatos (<12%)
LIMPIEZA	Deletéreos (<1%)	Deletéreos (<1%) Equivalente de arena (>50%) Índice de plasticidad (<4%)
ADHERENCIA	Resistencia retenida ante el agua en prueba de tracción indirecta (>80%) Peladura de la mezcla en agua hirviendo (>95%)	

**Fuente:** Clase de la asignatura Pavimentos (Vila Romaní, Clases de la asignatura Pavimentos, 2015)

## 2.4 Mezclas asfálticas

A la combinación entre agregados pétreos y ligante asfáltico se lo denomina mezcla asfáltica. Esta generalmente se elabora en plantas mezcladoras, aunque en ocasiones, por necesidad, se elabora in situ. Las dosificaciones deben realizarse en proporciones exactas ya que influyen en gran parte en las

propiedades físicas de la mezcla, y así mismo, en el desempeño del pavimento terminado. Existen algunos métodos de diseño para determinar los porcentajes adecuados de agregados y ligante en mezclas asfálticas. En el presente trabajo se utilizó el diseño Marshall

La mezcla asfáltica debe alcanzar un buen comportamiento, para ello las propiedades más importantes a considerar son: estabilidad Marshall, resistencia a las deformaciones permanentes, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento, durabilidad, etc.

### **2.4.1 Parámetros volumétricos**

Un factor importante que se debe tomar en cuenta en el comportamiento de las mezclas asfálticas relacionados con el contenido de asfalto y agregados utilizados en el diseño son sus parámetros volumétricos, los parámetros más utilizados son: gravedad específica bulk, gravedad específica máxima teórica, porcentaje de vacíos de aire, porcentaje de vacíos en el agregado mineral, porcentaje de vacíos rellenos de asfalto. A continuación, se explica de una manera breve cada uno de los parámetros mencionados.

La mezcla asfáltica de referencia utilizada en el presente trabajo de titulación presenta las siguientes características.

#### ❖ Granulometría combinada

En el Ecuador existe una norma de granulometría para mezclas asfálticas en pavimentos asfálticos. Generalmente para capas de rodadura se usa la correspondiente a la especificación: 1/2" de las especificaciones MOP-001, F-2002, TABLA 405-5.1. (Nuñez, 2014)

**Tabla 2. 11 Porcentaje de pasantes para capas de rodadura en los pavimentos asfálticos del Ecuador**

Tabla 405-5.1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: (MOP, 2002)

A continuación, se puede observar la granulometría correspondiente que se utilizó en la elaboración de las briquetas.

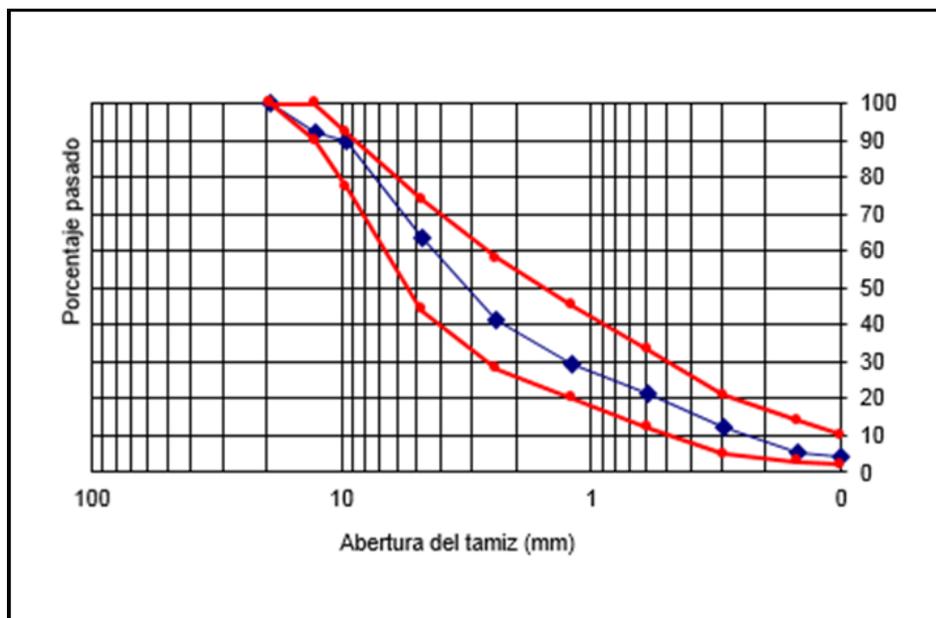


Figura 2. 1 Curva de granulometría combinada

Fuente: Autores

❖ Porcentaje de asfalto

Se empleó el 5,5% de asfalto, luego de varias comprobaciones en el laboratorio. No obstante, a partir de una muestra puede calcular según la siguiente expresión:

$$P_b = 100 * \frac{(W1 - W2) - (W3 + W4)}{(W1 - W2)}$$

W1: Peso de la muestra de mezcla asfáltica

W2: Contenido de humedad

W3: Peso del agregado, incluyendo filtro

W4: Peso de material mineral en extracto

#### **2.4.1.1 Gravedad específica bulk (Gmb)**

En una mezcla compactada es la relación entre la masa de un volumen de mezcla considerando los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto, y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida, así el valor que se obtiene es adimensional. El Gmb de una mezcla se determina mediante el procedimiento ASTM D1188 ó ASTM D2726.

Para determinar Gmb se considera la siguiente expresión:

$$G_{mb} = \frac{P. \text{aire}}{P. \text{SSS} - P. \text{agua}}$$

P. aire: Masa de la muestra en aire.

P. SSS: masa de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.

P. agua: masa de la muestra en agua.

En el presente trabajo se realizaron briquetas con 100% y 97% de la densidad relativa (DR) con el fin de realizar las diferentes pruebas de laboratorio, las cuales se mencionarán a continuación en el Capítulo 3 así como la distribución de las diferentes muestras. En la Tabla 2.12 se puede observar los valores

de Gmb promedios obtenidos para las diferentes mezclas con los dos niveles de compactación.

**Tabla 2. 12 Gravedades específicas promedios de las combinaciones**

Combinación	Composición del ligante	Gmb promedio para DR de:	
		100%	97%
1	PG 64-22:100%	2,487	2,430
2	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	2,495	2,443
3	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	2,499	2,441
4	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	2,509	2,441
5	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	2,513	2,425
6	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%	2,512	2,426

Fuente: Autores

#### 2.4.1.2 Gravedad específica máxima teórica (Gmm)

En una mezcla sin compactar es la relación entre la masa de un volumen de mezcla suelta sin considerar los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto ( $V_a = 0$ ), y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Este valor es calculado comúnmente por la prueba denominada "RICE", empleando las normas ASTM D 2041 y AASHTO T 209. Para determinar Gmm se considera la siguiente expresión:

$$G_{mb} = \frac{C}{A - (B - C)}$$

A: Peso del picnómetro

B: Peso del picnómetro + agua + material

C: Peso del material

Los valores obtenidos de RICE de las mezclas asfálticas con las diferentes combinaciones de asfalto se muestran a continuación, en la Tabla 2.6

**Tabla 2. 13 Gravedad específica máxima de las combinaciones**

Combinación	Composición del ligante	Gravedad específica máxima (RICE)
1	PG 64-22:100%	2,604
2	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	2,616
3	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	2,620
4	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	2,625
5	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	2,616
6	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%	2,608

Fuente: Autores

### 2.4.1.3 Vacíos de aire (Va)

Son los espacios de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto, en una mezcla asfáltica compactada. Se expresa como porcentaje del volumen total del espécimen. Para el diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall se permite un porcentaje de vacíos entre 3% a 5% en laboratorio mientras que las exigencias de compactación en obra permiten alcanzar el 97% de la densidad de laboratorio. Para determinar Va se considera la siguiente expresión:

$$Va = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Va: vacíos de aire en la mezcla compactada, en porcentaje del volumen total.

Gmm: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla.

Gmb: Gravedad específica de una mezcla compactada.

A continuación, en la Tabla 2.7 se observa los valores promedios de vacíos en las diferentes mezclas asfáltica con los dos niveles de densidad relativa.

**Tabla 2. 14 Porcentaje de vacíos obtenidos en las combinaciones**

Combinación	Composición del ligante	Vacíos promedio (%) para DR de:	
		100%	97%
1	PG 64-22:100%	4,5	6,7
2	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	4,6	6,6
3	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	4,6	6,8
4	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	4,4	7,0
5	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	3,9	7,3
6	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%	3,7	7,0

#### **2.4.1.4 Vacíos en el agregado mineral (VAM)**

Volumen intergranular de vacíos entre partículas del agregado de una mezcla asfáltica en caliente compactada (incluye vacíos de aire y el volumen de asfalto efectivo). Se expresa como porcentaje del volumen total del espécimen. Para determinar VAM se considera la siguiente expresión:

$$VAM = 100 * \frac{Gmb - Ps}{Gsb}$$

Gsb: Gravedad específica bruta del agregado.

Gmb: Gravedad específica bruta de la mezcla compactada.

Ps: Porcentaje o contenido de agregados.

### **2.4.1.5 Vacíos rellenos de asfalto (VFA)**

Es la fracción de los vacíos entre agregados minerales que contiene ligante asfáltico. Se expresa como porcentaje de los vacíos entre agregados minerales o VAM. Estos representan el volumen de asfalto efectivo presente en la mezcla. Para determinar VAM se considera la siguiente expresión:

$$VFA = 100 * \frac{100 * (VMA - Va)}{VMA}$$

VFA: Volumen lleno de asfalto, en %

Va: Porcentaje de vacíos con aire.

VMA: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

## **2.4.2 Parámetros de resistencia**

### **2.4.2.1 Estabilidad Marshall**

Es la carga máxima a compresión aplicada a una briqueta de dimensiones estandarizadas mediante mordazas de una configuración particular para el ensayo Marshall.

La muestra debe cumplir aproximadamente con las siguientes características: 1200 gramos de masa, un diámetro de 4 pulgadas y una altura de 2,5 pulgadas. Adicionalmente el ensayo debe realizarse a temperaturas altas de servicio (60°C). (Reyes, Rondon, 2015).

Para obtener los requisitos de estabilidad esperado previamente se debe realizar un estudio del tráfico puesto que si se espera una estabilidad elevada se debe obtener un pavimento muy rígido y esto conlleva a que tenga una menor duración de la que se necesita.

### **2.4.2.2 Flujo Marshall**

La fluencia o flujo Marshall es la deformación a lo largo del diámetro vertical de la briqueta expresada en centésimas de pulgadas, que es producida entre la carga cero hasta la carga de rotura.

En ocasiones las mezclas asfálticas pueden tener altos valores de estabilidad Marshall, pero bajos valores en fluencia, lo que podría dar a entender que son mezclas rígidas y frágiles. Por otro lado, aquellas mezclas que poseen un valor de fluencia elevado tienden a tener problemas de deformaciones y tienden a deformarse fácilmente bajo cargas de tráfico constante, es decir que son mezclas con tendencias plásticas. (Asphalt Institute, 1992)

Estas pruebas de Estabilidad y Fluencia Marshall serán consideradas en el siguiente trabajo de titulación y se especifican en la norma ASTM D6927.

### **2.4.3 Pruebas para evaluar el daño en agua**

#### **2.4.3.1 Ensayo de agua hirviendo**

Esta prueba se la realiza con la finalidad de evaluar la susceptibilidad a la humedad de un pavimento asfáltico, apreciando mediante la observación el nivel de desvestimiento que se produce en la muestra luego de ser sometida a un procedimiento en donde se hierve la mezcla en agua destilada. Dicho procedimiento en la práctica se lo utiliza para valorar el rendimiento de los aditivos anti desvestimiento incluidos en ciertas mezclas que son más susceptibles al agua (Kennedy, Roberts, & Anagnos, 1984)

La prueba en mención consiste en medir visualmente la pérdida de la película de asfalto de la mezcla al someterla a agua en ebullición durante 10 minutos. En este examen visual se dará como resultado el porcentaje de área total del agregado que retiene la cobertura original del ligante. (Gamba & Mercado, 2004). En las especificaciones del (MOP, 2002) se exige que la mezcla no deberá presentar evidencia alguna de peladura.

Esta prueba no se considera en el presente trabajo de titulación.

### **2.4.3.2 Pérdida de resistencia por daño en agua mediante tracción indirecta**

El daño en agua se puede evaluar mediante el ensayo de tracción indirecta, prueba de daño conocida como TSR por sus siglas en inglés (Tensile Strength Ratio), que consiste en aplicar una carga a compresión medida por una dial sobre los ejes diametrales de las briquetas. Para poder realizar este ensayo se necesitan 6 briquetas confeccionadas al 97% de su densidad relativa (aproximadamente 7% de vacíos) de las cuales 3 se ensayarán en seco y los tres restantes tendrán una previa saturación en agua que debería estar entre el 55% y 80%. Para tener una mayor seguridad al momento de la selección de las briquetas, entre cual saturar y cual ensayar en seco, los promedios de los porcentajes de vacíos de las briquetas seleccionadas deben ser aproximados.

Procedimiento:

- Se elaboran las briquetas con 97% de la densidad relativa (7% de vacíos como referente)
- Se selecciona cuales briquetas se ensayarán en seco y cuales se ensayarán en húmedo (saturadas).
- Las briquetas que fueron saturadas se las deja en baño de maría durante 24 horas a 60°.
- Pasada las 24 horas las briquetas saturadas se las coloca en un recipiente a 25° durante 1 hora antes de ensayar.
- Las briquetas que se ensayan en seco se las coloca en un recipiente a 25° durante 20 minutos antes de ser ensayadas.
- Luego de realizar los ensayos se obtiene la resistencia retenida por daño en agua y se verifica si es mayor o menor al 80%.
- Según la norma del (MOP, 2002) si es mayor al 80% no tendrá daño por humedad, si la resistencia retenida es menor al 80% eso significa que la mezcla asfáltica tendrá problema o daño por agua.

## **2.4.4 Pruebas de desempeño con el equipo Nottingham Asphalt Tester – NU 10 (NAT)**

Utilizando el equipo NAT – NU 10, se realizaron las diferentes pruebas de desempeño bajo cargas dinámicas. Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Carreteras de la UCSG y cuenta con un procesador que permite medir y ejecutar dichos ensayos mediante diferentes softwares provistos por el fabricante.

Las diferentes pruebas que se pueden realizar son las siguientes:

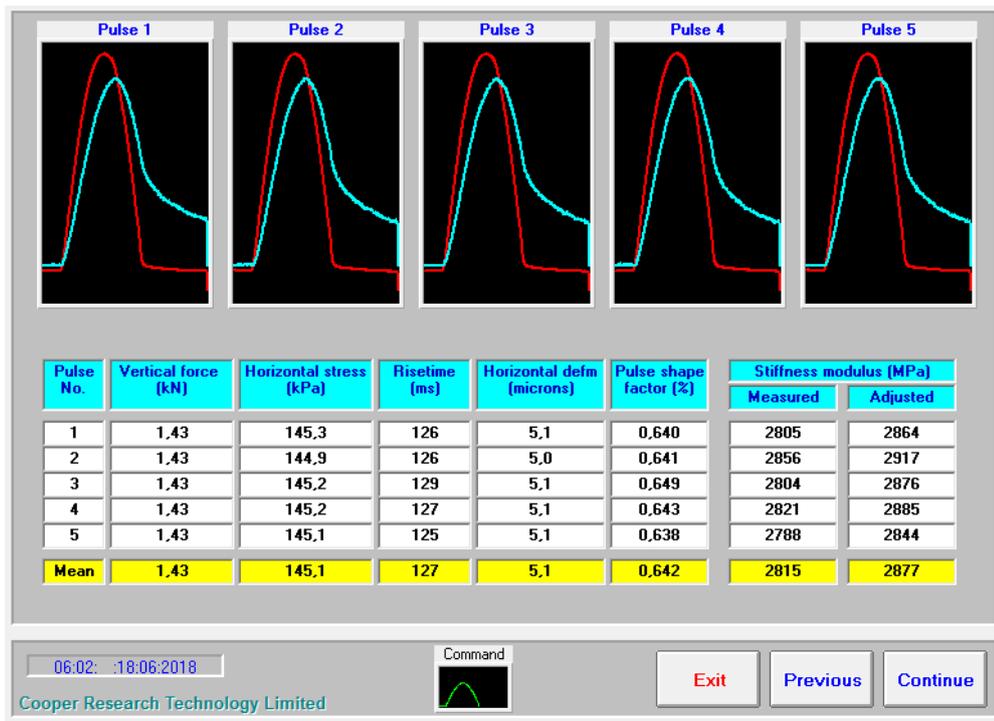
### **2.4.4.1 Módulo de rigidez**

Se realiza mediante ensayos a tracción indirecta con un cabezal de carga tipo Hoffman. Este procedimiento consiste en aplicar una carga a lo largo del diámetro vertical de la briqueta midiendo los esfuerzos y deformaciones producidos por esta.

#### **❖ Módulo de rigidez bajo deformación controlada**

El ensayo se realiza a 20°C a un nivel de deformación de 5 micrones y 0,12 segundos de intervalo de tiempo entre carga y carga máxima en un pulso medio sinusoidal. El cabezal de carga aplica 5 pulsaciones que posteriormente son promediadas aplicando un factor de corrección.

El registro de datos de la pantalla se puede observar en la Figura 2.2 la cual corresponde a la briqueta 6 de la mezcla número 3.

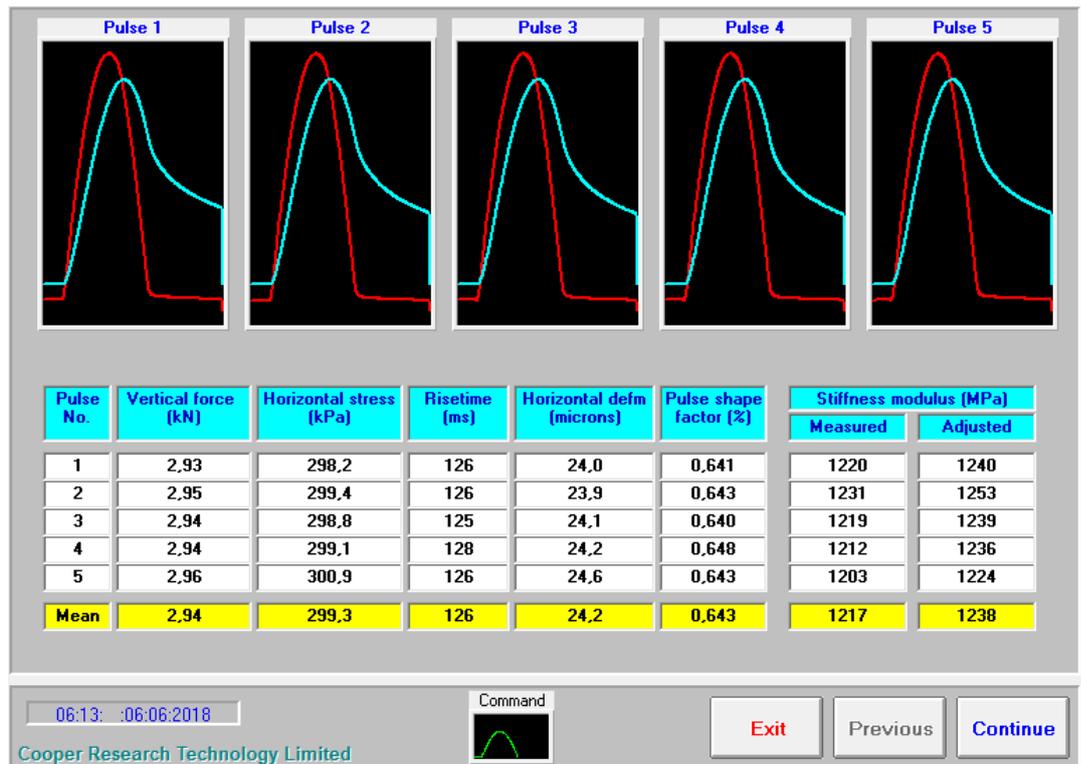


**Figura 2. 2 Salida de resultado en ensayo módulo de rigidez**

### ❖ **Módulo de rigidez bajo esfuerzo controlado**

Este módulo guarda estrecha relación con el análisis a fatiga, ya que se encuentra como dato en la fórmula para determinar las deformaciones que presenta la muestra en dicho análisis. El procedimiento es muy similar al del módulo bajo deformación controlada con la diferencia de que la carga aplicada es ajustada y condicionada por el usuario. Cabe recalcar que esta carga impuesta será la misma que predomine durante el ensayo a fatiga.

En la Figura 2.3 se encuentra la salida de resultados del programa correspondientes a la briqueta número 6 de la segunda mezcla luego de haber sido aplicada una carga de 300kPa previamente seleccionada.



**Figura 2. 3 Salida de resultado en ensayo módulo de rigidez**

### 2.4.4.2 Fatiga

El ensayo consiste en el empleo de tensiones controladas que por lo general se encuentran en el rango de entre 100 y 500 kPa determinando el número requerido de pulsaciones para que la muestra falle, ya sea por agrietamiento total a lo largo del diámetro vertical o por haber alcanzado una deformación vertical máxima de 5 milímetros. Al igual que en ensayos anteriores, estas pulsaciones poseen un tiempo de carga de 0,12 segundos y se realiza a una temperatura constante de 20°C.

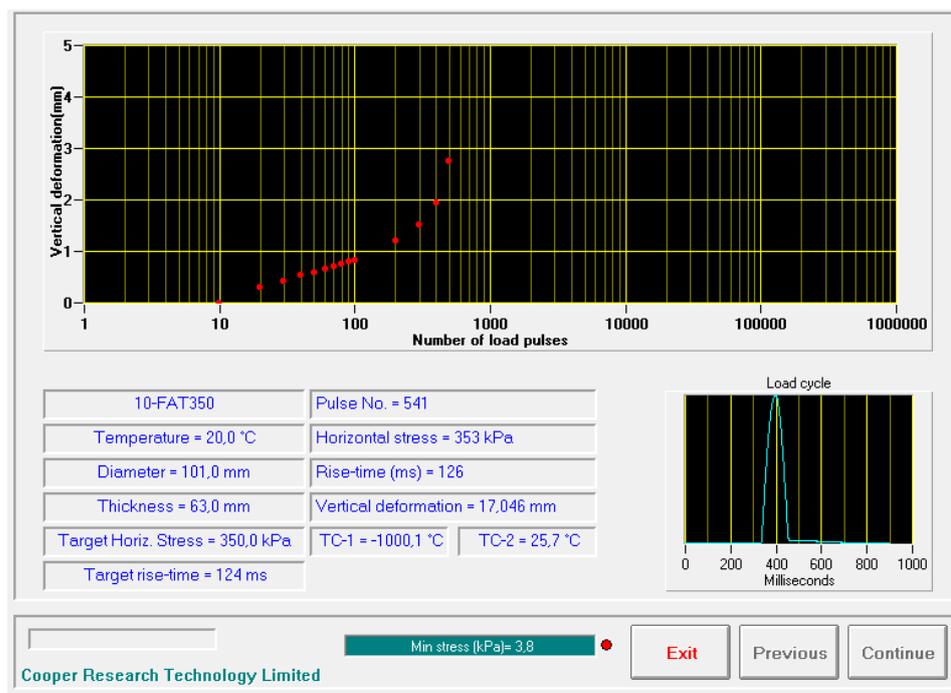
Tal como se indicó previamente, para empezar la prueba es necesario determinar el módulo de rigidez ( $S_m$ ) con un esfuerzo controlado ( $\sigma$ ) similar al de la prueba de fatiga. Teniendo en cuenta que el coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) tiene un valor de 0,35, es posible calcular la deformación unitaria por tracción inicial ( $\epsilon$ ) según la siguiente expresión. (Vila Romaní, Estudios y Propuestas

sobre la calidad de los asfaltos y de las mezclas asfálticas en el Ecuador, 2017)

$$\varepsilon = \frac{\sigma(kPa) * (1 + 3\mu)}{Sm(kPa)}$$

\*Los valores de  $\varepsilon$  se expresan en  $\frac{mm}{mm} \times 10^{-6}$

Luego de obtener los valores, el software realiza una gráfica logarítmica con el número de repeticiones en el eje X y la deformación vertical(mm) en el eje Y tal como lo muestra la Figura 2.4



**Figura 2. 4 Salida de resultado en ensayo fatiga**

### 2.4.4.3 Deformación permanente bajo compresión cíclica uniaxial (Creep)

Este ensayo determina la resistencia a deformación permanente de la muestra cuando se la somete a cargas cíclicas. Durante la prueba, se mide el cambio en el espesor de la muestra luego de haber pasado por 3600 repeticiones de carga. El ciclo de carga consiste en la aplicación de 100kPa por segundo,

seguido de un tiempo de descanso de 1 segundo. El ensayo se realiza bajo ondas cuadráticas y a una temperatura constante de 40 °C.

De acuerdo con él (MOP, 2002) una mezcla asfáltica que presente deformaciones permanentes menores del 1% va a presentar un comportamiento satisfactorio frente a deformaciones plásticas. En la Figura 2.5 se encuentran los resultados salidos en la pantalla al finalizar el ensayo.

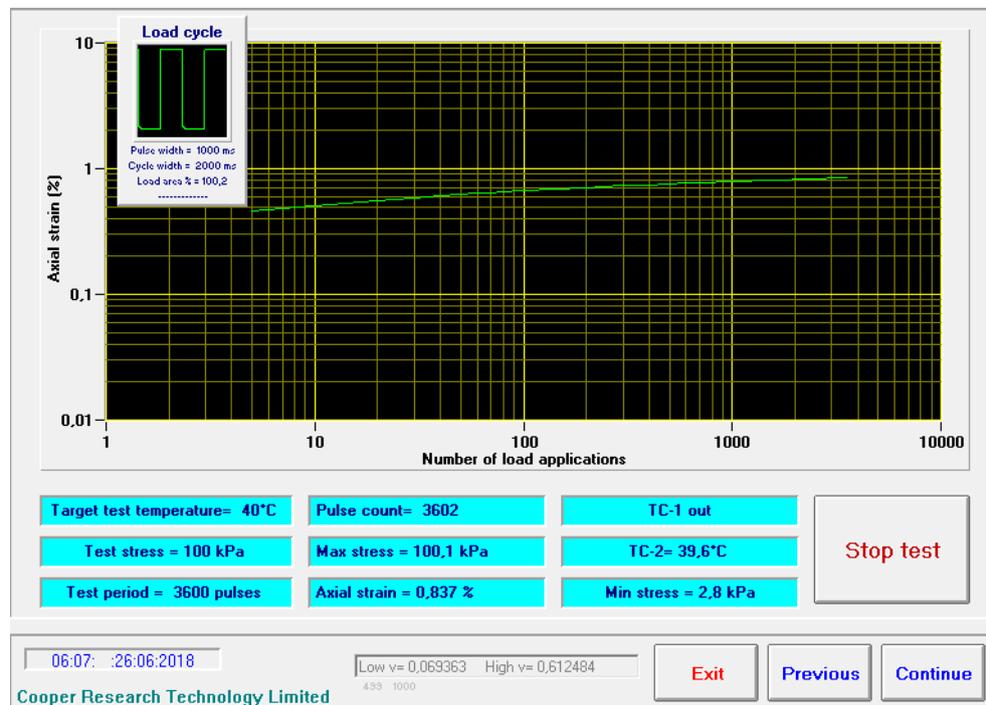


Figura 2. 5 Salida de resultados en ensayo Creep

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Metodología de trabajo

Se estudiarán mezclas asfálticas utilizando asfaltos mezclados con rejuvenecedores mediante diferentes pruebas de laboratorio y posteriormente analizar la influencia de dichos productos. Para dicha investigación, se utilizó como referencia una mezcla asfáltica que cumple con las diferentes exigencias del diseño Marshall, utilizando agregados procedentes de la planta asfáltica Chivería que son de origen basáltica.

#### 3.2 Proceso de elaboración de briquetas

A continuación, se detallará el proceso utilizado para la confección de las briquetas correspondientes a las 6 combinaciones de mezcla.

- I. Pesar las distintas fracciones de los agregados para alcanzar la granulometría (tamaño nominal  $\frac{1}{2}$ " de la Tabla 405-5.1, MOP-001-F-2002 2002), luego colocarlas en un horno por un tiempo de 24 horas a 110 °C y posteriormente incrementar la temperatura a 150°C por dos horas.



**Figura 3. 1 Agregados en el horno**

- II. Colocar los moldes Marshall en el horno para que alcancen la temperatura expresada anteriormente.



**Figura 3. 2 Batch y molde en el horno**

- III. Calentar el cemento asfáltico previamente mezclado con los aditivos a utilizar a una temperatura de  $150^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ).



**Figura 3. 3 Toma de temperatura a cemento asfáltico**

- IV. Mezclar manualmente los agregados minerales y la cantidad de asfalto determinada de acuerdo con la dosificación correspondiente. Procurar que la mezcla sea lo más homogénea posible.



**Figura 3. 4 Mezcla de agregados con asfalto**

- V. Envejecer la mezcla asfáltica en el horno a una temperatura de 135°C por 2 horas. Esto es realizado con la finalidad de que el agregado absorba el asfalto de manera similar a lo que sucede en obra.



**Figura 3. 5 Batch mezclado en el horno**

- VI. Rellenar los moldes con la cantidad de mezcla requerida. Cabe recalcar que los moldes deben ser previamente engrasados para facilitar la tarea de desmoldar las briquetas.



**Figura 3. 6 Elaboración de briqueta**

- VII. Colocar el molde en la base y empezar el proceso de compactación con el martillo Marshall. Es de vital importancia mantener un estricto control de temperatura durante el proceso de compactación.



**Figura 3. 7 Toma de temperatura de compactación**

- VIII. Dejar enfriar las briquetas. Luego, proceder a desmoldarlas utilizando una gata hidráulica; identificándolas adecuadamente según su orden de confección y el tipo de asfalto utilizado.



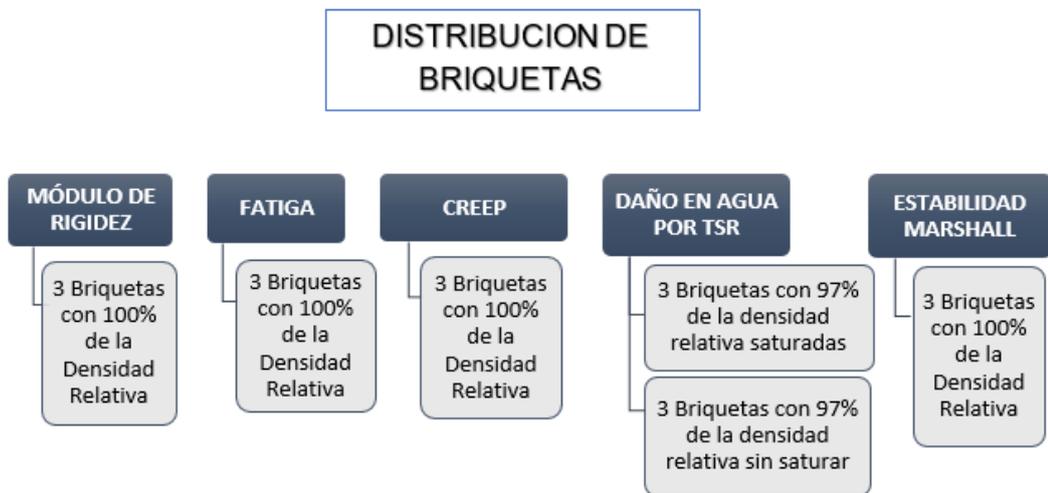
**Figura 3. 8 Desmolde de briqueta**

### **3.3 Distribución de briquetas**

Los especímenes producidos fueron compactados con la metodología Marshall que utiliza moldes cilíndricos de 102 mm de diámetro aproximadamente y recomienda 64 cm de espesor. Sin embargo, algunos valores de espesor variaron en la práctica.

Para realizar las briquetas con el 100% de la densidad relativa se aplicaron 75 golpes con el martillo Marshall por cada cara, mientras que en la elaboración de los cilindros con el 97% de la densidad relativa se necesitaron entre 30 a 40 golpes. Este valor es netamente empírico y se obtiene mediante tanteo.

Se elaborarán 18 briquetas para cada combinación de mezcla asfáltica, 12 con el 100% de la densidad relativa y 6 con el 97%, las cuales se distribuirán como se muestra en la Tabla 3.1



**Tabla 3. 1 Distribución de briquetas**

En total se elaboraron 108 briquetas distribuidas entre las 6 combinaciones estudiadas. Se puede señalar que por motivos de seguridad se confeccionaron 4 briquetas extras por cada mezcla para ser utilizadas en caso de ocurrir algún incidente.



**Figura 3. 9 Muestra de briquetas elaboradas**

### 3.4 Metodología de saturación

Para dicho proceso, se utilizó el indicado en la normativa ASTM D 4867/D 4867M – 04 para la resistencia retenida a tracción indirecta, el método se explicará brevemente a continuación.

Para las 6 briquetas elaboradas con el 97% de la densidad relativa, se determina los parámetros volumétricos, buscando que cumplan con valores de vacíos entre 6,5 y 7,5%



**Figura 3. 10 Determinación de los pesos**

Después, se divide en dos subgrupos cuyos valores de porcentajes de vacíos promedios sean aproximadamente iguales. Luego, con ayuda de una bomba de vacío y un picnómetro como se muestra en la Figura 3.11. se procede a saturar las tres briquetas seleccionadas buscando que el nivel de saturación se encuentre entre el 55 y el 80% (ASTM, 2004). Para posteriormente condicionar los especímenes durante 24 horas en baño de maría a 60°C, ver Figura 3.12



**Figura 3. 11 Saturación de briqueta**



**Figura 3. 12 Briquetas en baño María**

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

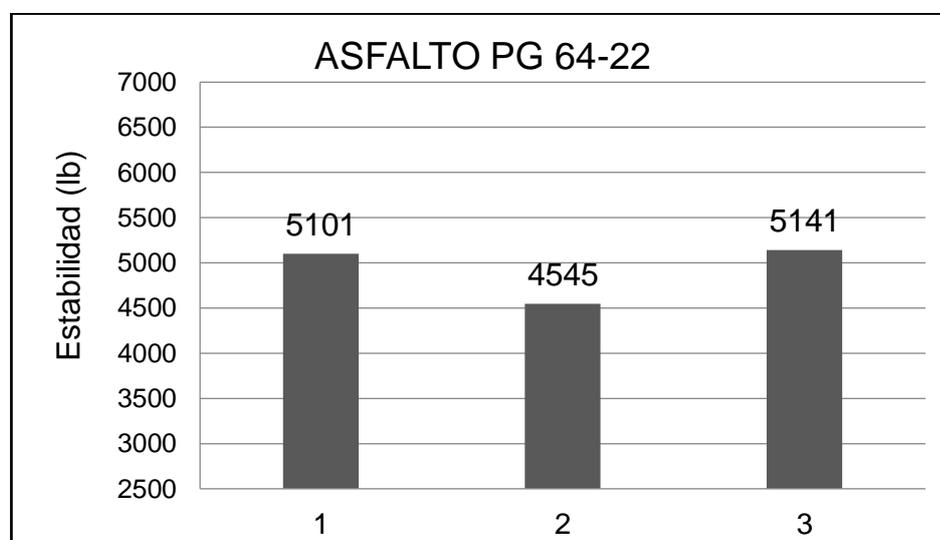
#### 4.1 Resultados de los ensayos Marshall

A continuación, se muestran en las tablas 4.1 a 4.6 y en las figuras 4.1 a 4.6 los resultados obtenidos en las diferentes combinaciones analizadas. Se ha respetado el criterio usual en el Ecuador de expresar la estabilidad Marshall en libras y el flujo en centésimas de pulgada.

**Tabla 4. 1 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 1**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	386	4680	1,09	5101	11
2	269	3270	1,39	4545	12
3	356	4320	1,19	5141	12
<b>PROMEDIO</b>				<b>4929</b>	<b>12</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>333</b>	<b>1</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>7</b>	<b>5</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 1 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 1**

Fuente: Autores

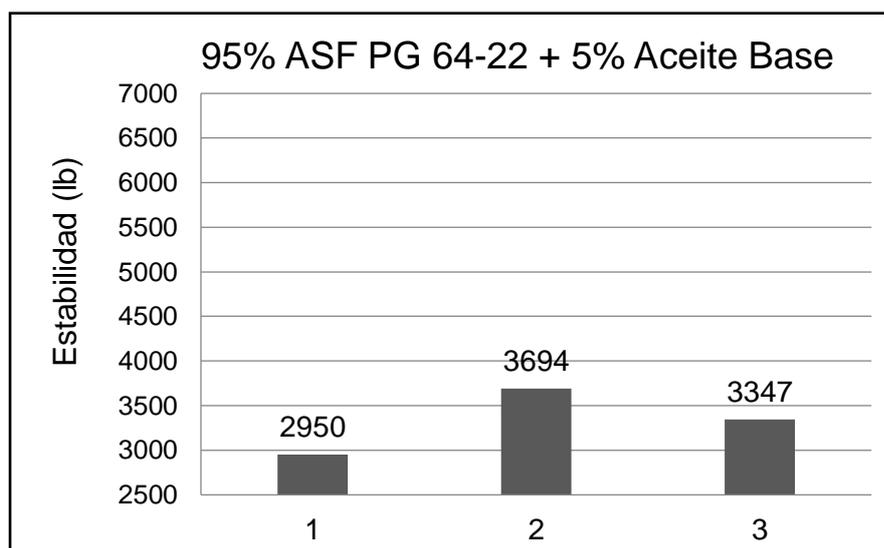
En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 4929 lb con una desviación estándar de 333 lb lo que originó un coeficiente de variación de 7%. Para el flujo el valor promedio es de 12(0,01") con una variación estándar de 1(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 5%.

**Tabla 4. 2 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 2**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	232	2837	1,04	2950	17
2	278	3389	1,09	3694	17
3	264	3218	1,04	3347	12*
<b>PROMEDIO</b>				<b>3322</b>	<b>17</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>526</b>	<b>0</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>16</b>	<b>0</b>

\*No se considera para el promedio

**Fuente:** Autores



**Figura 4. 2 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 2**

**Fuente:** Autores

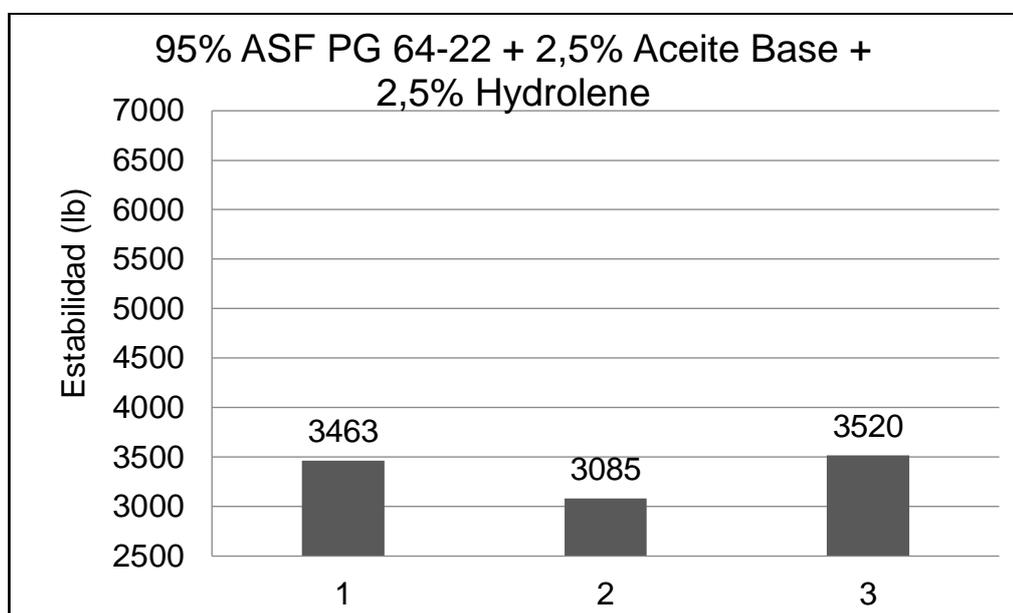
En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 3322 lb con una desviación estándar de 526 lb lo que originó un coeficiente de variación de 16%. Para el flujo el valor promedio es de 17(0,01") con una

variación estándar de 0(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 0%, cabe recalcar que para realizar los promedios no se tomó en cuenta la muestra #3 debido a que su valor difiere en comparación con las otras muestras.

**Tabla 4. 3 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 3**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	324	3330	1,04	3463	10
2	232	2830	1,09	3085	11
3	278	3385	1,04	3520	10
<b>PROMEDIO</b>				<b>3356</b>	<b>10</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>237</b>	<b>1</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>7</b>	<b>6</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 3 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 3**

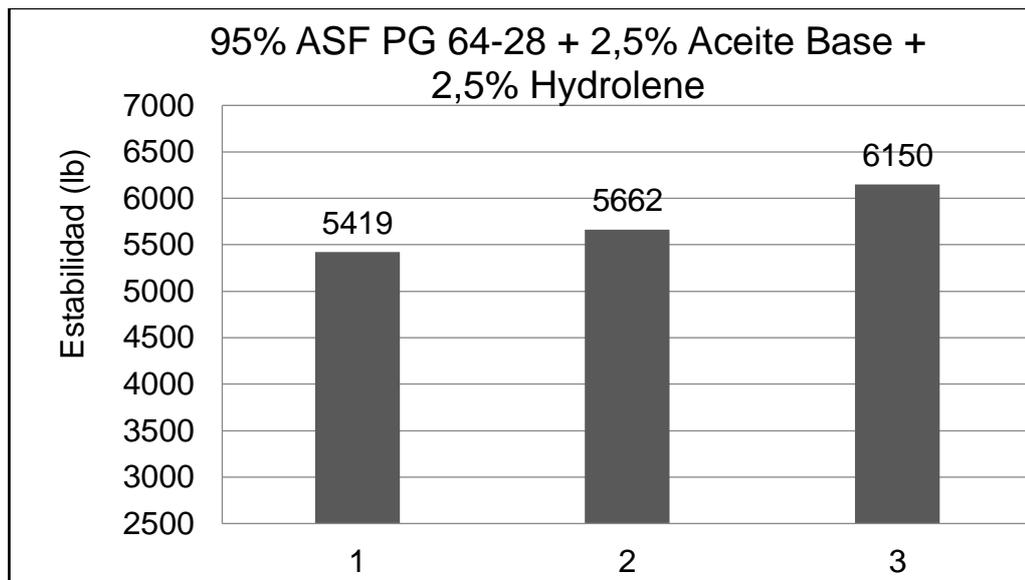
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 3356 lb con una desviación estándar de 237 lb lo que originó un coeficiente de variación de 7%. Para el flujo el valor promedio es de 10(0,01") con una variación estándar de 1(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 6%.

**Tabla 4. 4 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 4**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	520	4972	1,09	5419	15
2	570	5444	1,04	5662	15
3	591	5642	1,09	6150	15
<b>PROMEDIO</b>				<b>5744</b>	<b>15</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>372</b>	<b>0</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>6</b>	<b>0</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 4 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 4**

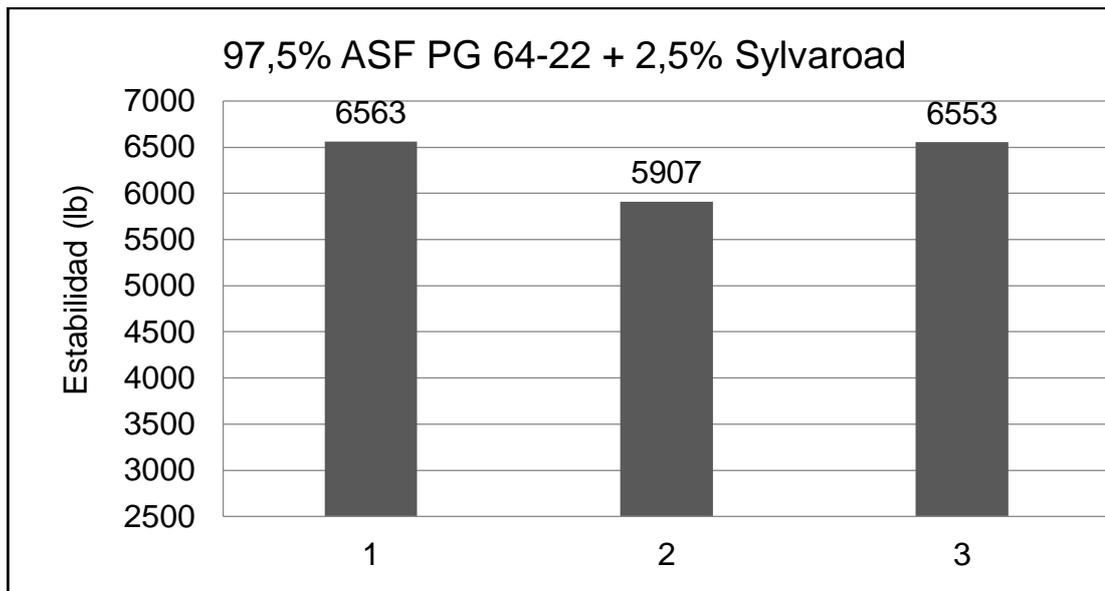
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 5744 lb con una desviación estándar de 372 lb lo que originó un coeficiente de variación de 7%. Para el flujo el valor promedio es de 15(0,01") con una variación estándar de 0(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 0%.

**Tabla 4. 5 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 5**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	662	6311	1,04	6563	12
2	595	5680	1,04	5907	13
3	661	6301	1,04	6553	14
<b>PROMEDIO</b>				<b>6341</b>	<b>13</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>376</b>	<b>1</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>6</b>	<b>8</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 5 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 5**

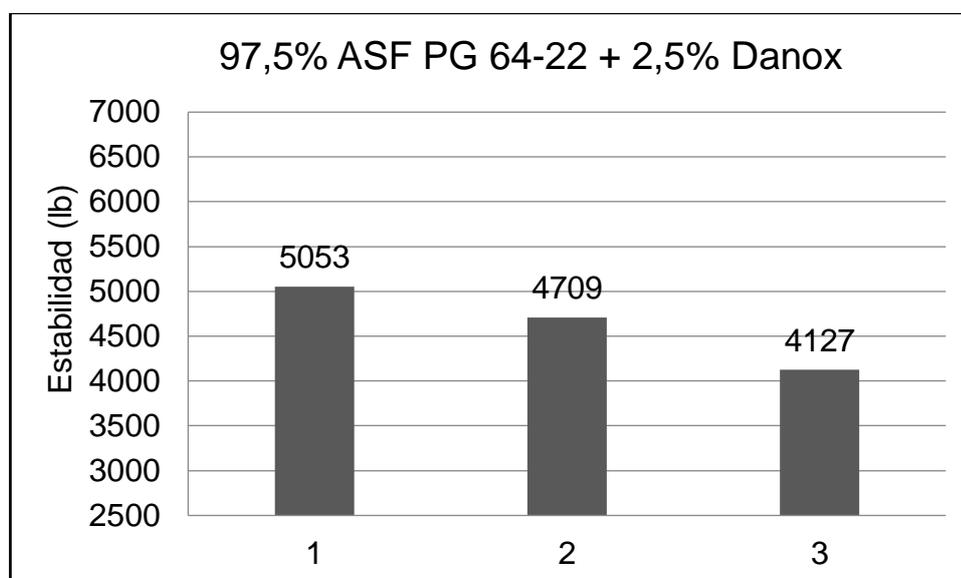
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 6341 lb con una desviación estándar de 376 lb lo que originó un coeficiente de variación de 6%. Para el flujo el valor promedio es de 13(0,01") con una variación estándar de 1(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 8%.

**Tabla 4. 6 Resultados del ensayo Marshall en la Combinación 6**

Muestra	Lectura DEF (0,0001")	Carga (lbs)	Factor de corrección	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	400	4859	1,04	5053	10
2	372	4528	1,04	4709	11
3	326	3968	1,04	4127	10
<b>PROMEDIO</b>				<b>4630</b>	<b>10</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>				<b>468</b>	<b>1</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>				<b>10</b>	<b>6</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 6 Gráfico de barras de la estabilidad en la Combinación 6**

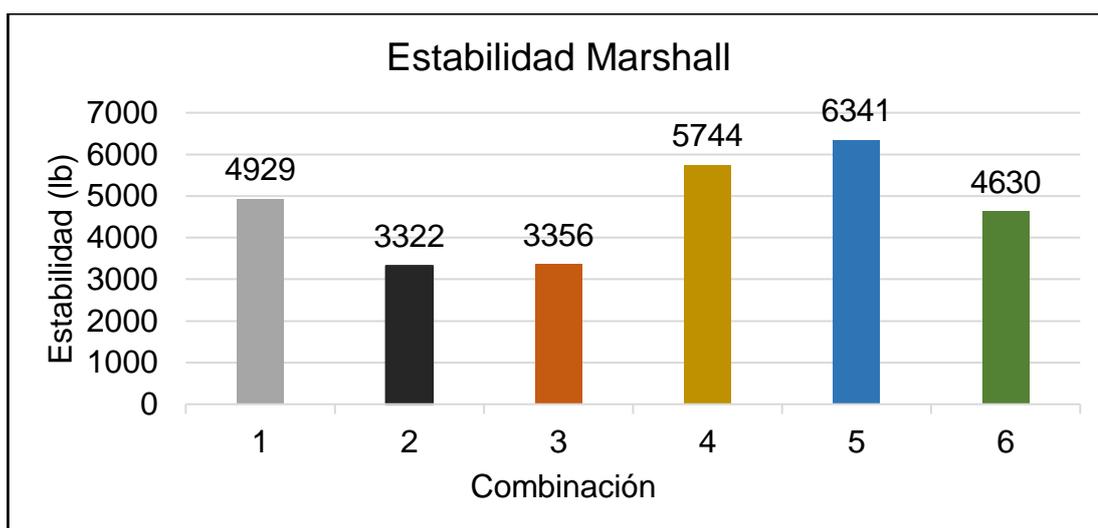
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para la estabilidad Marshall un valor promedio de 4630 lb con una desviación estándar de 468 lb lo que originó un coeficiente de variación de 10%. Para el flujo el valor promedio es de 10(0,01") con una variación estándar de 1(0,01") lo que genera un coeficiente de variación de 6%.

**Tabla 4. 7 Comparación de las mezclas mediante el ensayo Marshall**

Combinación	Composición del ligante	Estabilidad (lb)	Flujo (0,01")
1	PG 64-22:100%	4929	12
2	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	3322	17
3	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	3356	10
4	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	5744	15
5	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	6341	13
6	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%	4630	10

**Fuente:** Autores

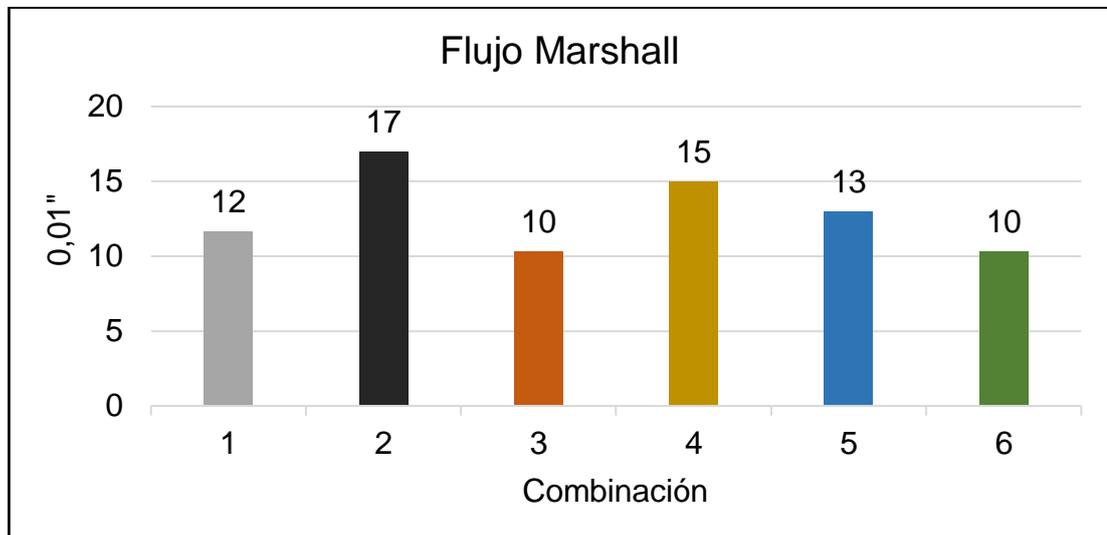


**Figura 4. 7 Gráfico de los valores promedios de estabilidad Marshall**

**Fuente:** Autores

En el Figura 4.7 se muestran los valores promedios de la estabilidad y se puede observar que el mayor valor de estabilidad corresponde a la Combinación 5 con 6341 lb, seguido por la combinación 4 con 5744 lb. Por

otra parte, los menores valores de estabilidad corresponden a los de las mezclas 2 y 3 con 3322 lb y 3356 lb. Sin embargo, es importante mencionar que todas las mezclas cumplen con el mínimo valor de estabilidad para carreteras con tráfico pesado fijado en 1800 lb (Asphalt Institute, 2008). Lo más llamativo de estos resultados es precisamente que en la mayoría de las combinaciones se obtuvieron valores excesivamente altos de estabilidad.



**Figura 4. 8 Gráfico de barras de los promedios de Flujo**

**Fuente:** Autores

Al considerar los valores de flujo mostrados en la Figura 4.8 se observa que 4 de las 6 mezclas cumplen con el rango que establece la especificación Marshall, la cual exige valores entre 8 y 14 centésimas de pulgada (Institute, The Asphalt Handbook, 2008) quedando las mezclas 2 y 4 fuera de este rango, con valores de 17 y 15 (0.01") respectivamente. Ambos se encuentran por encima del valor máximo permitido.

Es usual en este ensayo a mezclas que donde se generen los valores más elevados de estabilidad se encuentren los valores de flujo más bajos. Este criterio en nuestro caso no se cumpliría en general en las combinaciones 3 y 4. En el primer caso se tiene una baja estabilidad con un bajo flujo y en el segundo lo opuesto.

## 4.2 Resultados del daño en agua mediante el ensayo de TSR

Los valores resultantes del ensayo se muestran en las tablas 4.8 a 4.13.

**Tabla 4. 8 Resultados de daño en agua en la Combinación 1**

100% Asfalto PG 64-22								
Briquetas		11	12	13	14	15	16	
Espesor (cm)	t	6,4	6,4	6,3	5,7	5,5	6,2	
Lectura dial condición seca	LDd	198	274	213				
Carga en condición seca (kg)	P	683	763	737				
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>6,7</b>	<b>7,5</b>	<b>7,3</b>				<b>7,2</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>656</b>	<b>733</b>	<b>719</b>				<b>702</b>
Lectura dial con inmersión	LDm				154	147	163	
Carga luego de inmersión (kg)	P'				533	511	563	
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>5,9</b>	<b>5,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5,8</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>575</b>	<b>571</b>	<b>558</b>	<b>568</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std							<b>80,8</b>

**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 80,8%, el cual cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 9 Resultados de daño en agua en la Combinación 2**

95% ASF PG 64-22 + 5% Aceite Base							
Briquetas		11	12	13	14	15	16
Espesor (cm)	t	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
Lectura dial condición seca	LDd	186	189	193			
Carga en condición seca (kg)	P	815	828	845			
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>8,2</b>	<b>8,4</b>	<b>8,5</b>			<b>8,4</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>808</b>	<b>821</b>	<b>837</b>			<b>822</b>
Lectura dial con inmersión	LDm				138	146	146
Carga luego de inmersión (kg)	P'				606	641	641
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>6,1</b>	<b>6,5</b>	<b>6,5</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>601</b>	<b>635</b>	<b>635</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std						<b>75,9</b>

**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 75,9%, el cual no cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 10 Resultados de daño en agua en la Combinación 3**

95% ASF PG 64-22 + 2,5% Aceite Base + 2,5% Hydrolene							
Briquetas		11	12	13	14	15	16
Espesor (cm)	t	6,4	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5
Lectura dial condición seca	LDd	195	194	195			
Carga en condición seca (kg)	P	854	850	854			
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>8,4</b>	<b>8,5</b>	<b>8,5</b>			<b>8,4</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>820</b>	<b>829</b>	<b>833</b>			<b>827</b>
Lectura dial con inmersión	LDm						
Carga luego de inmersión (kg)	P'				645	641	772
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>6,3</b>	<b>6,3</b>	<b>7,4</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>619</b>	<b>615</b>	<b>730</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std						<b>79,2</b>

**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 79,2%, el cual no cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 11 Resultados de daño en agua en la Combinación 4**

95% ASF PG 64-28 + 2,5% Aceite Base + 2,5% Hydrolene							
Briquetas		11	12	13	14	15	16
Espesor (cm)	t	6,4	6,4	6,4	6,5	6,4	6,4
Lectura dial condición seca	LDd	186	194	173			
Carga en condición seca (kg)	P	812	846	757			
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>8,0</b>	<b>8,3</b>	<b>7,4</b>			<b>7,9</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>785</b>	<b>814</b>	<b>726</b>			<b>775</b>
Lectura dial con inmersión	LDm				143	138	147
Carga luego de inmersión (kg)	P'				628	606	645
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>6,1</b>	<b>5,9</b>	<b>6,3</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>598</b>	<b>579</b>	<b>618</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std						<b>77,2</b>

**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 77,2%, el cual no cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 12 Resultados de daño en agua en la Combinación 5**

<b>97,5% ASF PG 64-22 + 2,5 % Sylvaroad</b>								
Briquetas		11	12	13	14	15	16	
Espesor (cm)	t	6,5	6,4	6,4	6,4	6,5	6,4	
Lectura dial condición seca	LDd	194	184	193				
Carga en condición seca (kg)	P	850	806	845				
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>8,3</b>	<b>7,9</b>	<b>8,3</b>				<b>8,2</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>814</b>	<b>775</b>	<b>814</b>				<b>801</b>
Lectura dial con inmersión	LDm				154	147	163	
Carga luego de inmersión (kg)	P'				676	545	715	
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>6,6</b>	<b>6,3</b>	<b>7,0</b>	<b>6,6</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>647</b>	<b>618</b>	<b>686</b>	<b>651</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std							<b>81,2</b>

**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 81,2%, el cual cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 13 Resultados de daño en agua en la Combinación 6**

<b>97,5% ASF PG 64-22 + 2,5% Danox</b>								
Briquetas		11	12	13	14	15	16	
Espesor (cm)	t	6,3	6,5	6,4	6,5	6,5	6,5	
Lectura dial condición seca	LDd	194	195	179				
Carga en condición seca (kg)	P	850	854	795				
Resistencia seca (kg/cm <sup>2</sup> )	Std=2P/(πDt)	<b>8,3</b>	<b>8,4</b>	<b>7,7</b>				<b>8,1</b>
Resistencia seca (kPa)		<b>814</b>	<b>824</b>	<b>755</b>				<b>798</b>
Lectura dial con inmersión	LDm				157	147	154	
Carga luego de inmersión (kg)	P'				689	645	676	
Resistencia húmeda (kg/cm <sup>2</sup> )	Stm=2P'/(πDt)				<b>6,8</b>	<b>6,3</b>	<b>6,6</b>	<b>6,6</b>
Resistencia húmeda (kPa)					<b>667</b>	<b>618</b>	<b>647</b>	<b>644</b>
<b>% resistencia retenida</b>	TSR=100Stm/Std							<b>80,7</b>

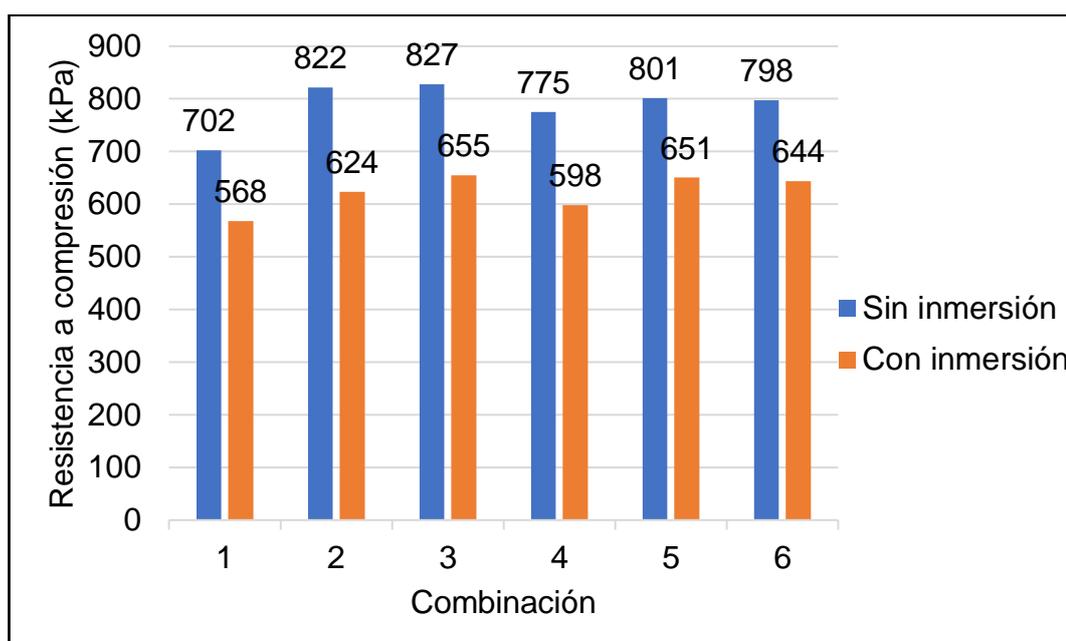
**Fuente:** Autores

Para esta combinación se determinó un porcentaje de resistencia retenido de 80,7%, el cual cumple con las exigencias ya comentada.

**Tabla 4. 14 Comparación de las mezclas mediante el ensayo TSR**

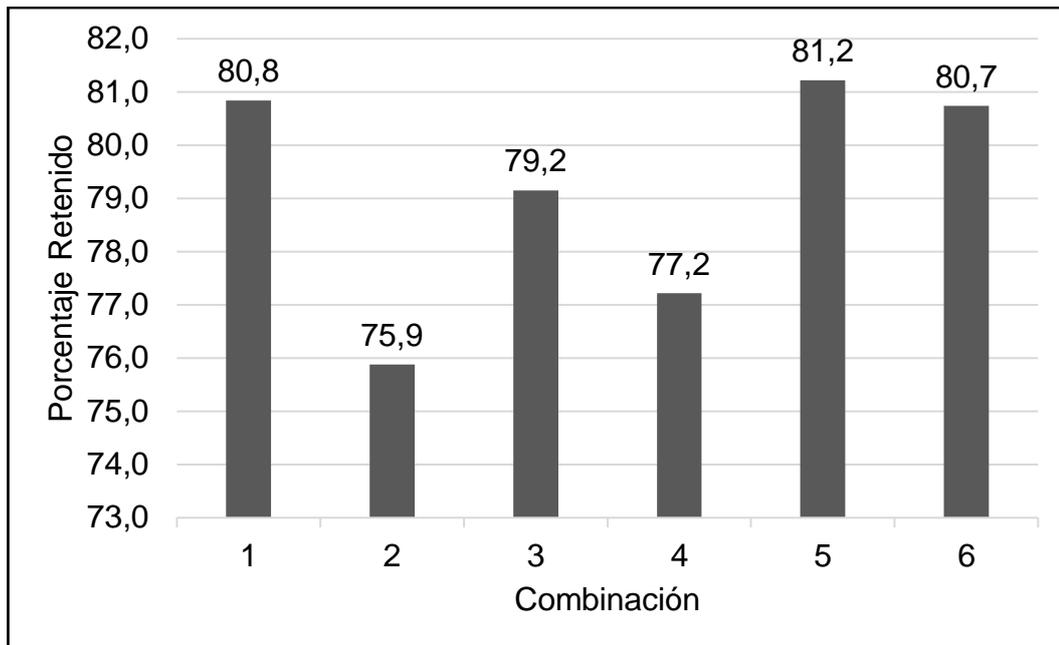
<b>Combinación</b>	<b>Resistencia sin inmersión (kPa)</b>	<b>Resistencia con inmersión (kPa)</b>	<b>% Retenido</b>
1	702	568	80,8
2	822	624	75,9
3	827	655	79,2
4	775	598	77,2
5	801	651	81,2
6	798	644	80,7

**Fuente: Autores**



**Figura 4. 9 Gráfico de barras de la resistencia a compresión**

**Fuente: Autores**



**Figura 4. 10 Comparación de los porcentajes de resistencia retenido**

**Fuente:** Autores

Los resultados obtenidos revelan que los mayores valores de resistencia en condición seca, es decir sin pasar por el proceso de saturación, corresponden a las mezclas 2 y 3 con un promedio de 8,4 kg/cm<sup>2</sup> cada una. Estos valores superan a los de la mezcla con asfalto sin modificar, así mismo el menor valor de resistencia también lo obtuvo esta mezcla.

Luego del proceso de saturación los mayores valores de resistencia se repiten con la mezcla 3 que obtuvo 6,7 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe mencionar que la mezcla 5 obtuvo valores muy cercanos con 6,6 kg/cm<sup>2</sup>. Ahora, al considerar la resistencia retenida, cuyo factor es el indicador de un adecuado comportamiento ante el daño en agua, refleja que las mezclas 1, 5 y 6 cumplen con el mínimo porcentaje retenido de resistencia, mientras que las demás mezclas presentarían problemas.

### **4.3 Resultados del ensayo de módulo de rigidez**

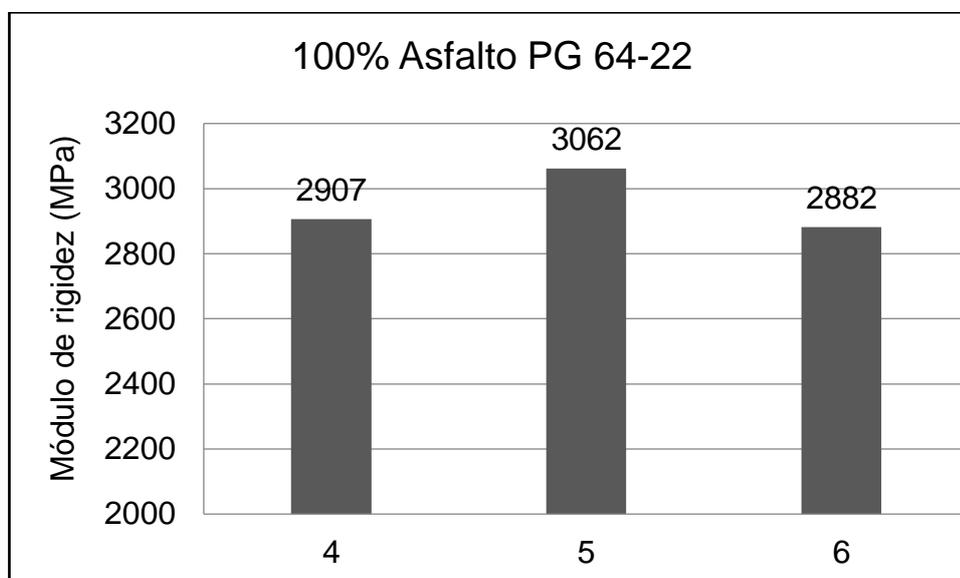
Se puede observar desde la figura 4.9 hasta la 4.14 los resultados de módulo de rigidez de cada una de las 3 briquetas ensayadas por cada combinación

estudiada. Mientras que en las tablas 4.14 hasta la 4.19 se determina los valores promedios, desviación estándar y coeficiente de variación.

**Tabla 4. 15 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 1**

MUESTRAS	MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C (MPa)
4	2907
5	3062
6	2882
<b>PROMEDIO</b>	<b>2950</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	98
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	3,3

Fuente: Autores



**Figura 4. 11 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la Combinación 1**

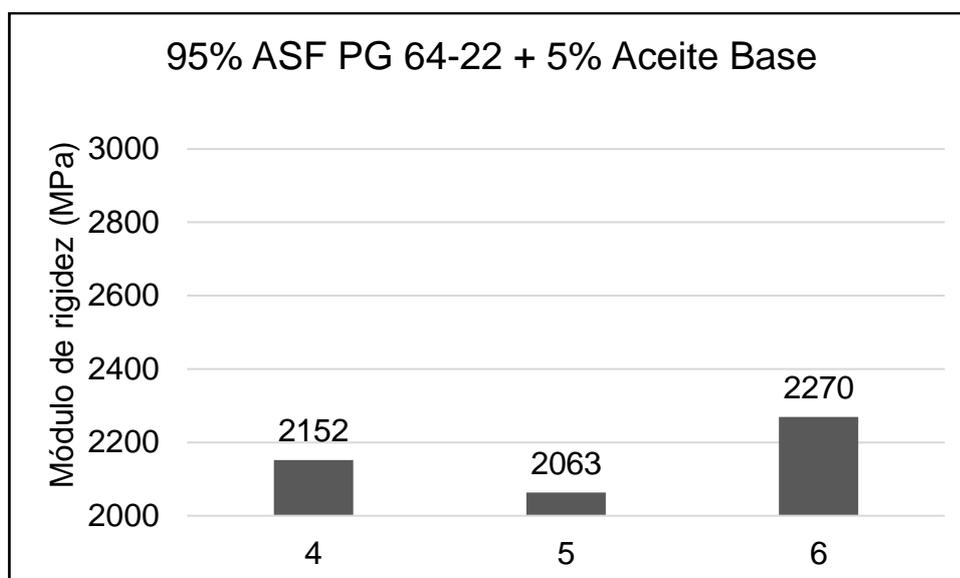
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2950 MPa, con una desviación estándar de 98 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 3,3%

**Tabla 4. 16 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 2**

MUESTRAS	MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C(MPa)
4	2152
5	2063
6	2270
<b>PROMEDIO</b>	<b>2162</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	<b>104</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>4,8</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 12 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 2**

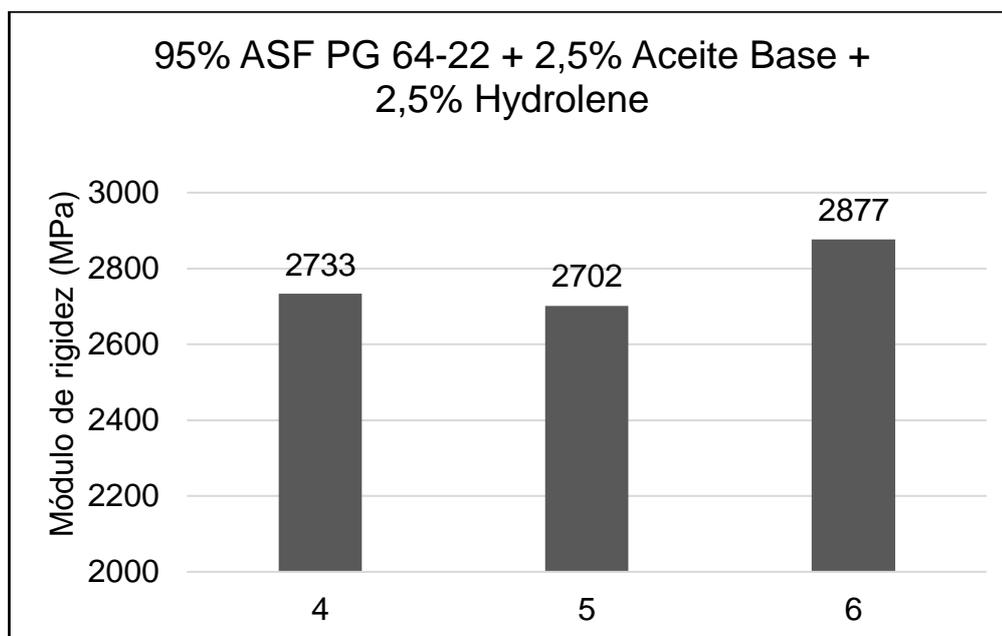
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2162 MPa, con una desviación estándar de 104 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 4,8%

**Tabla 4. 17 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 3**

<b>MUESTRAS</b>	<b>MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C(MPa)</b>
4	2733
5	2702
6	2877
<b>PROMEDIO</b>	<b>2771</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	<b>93</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>3,4</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 13 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 3**

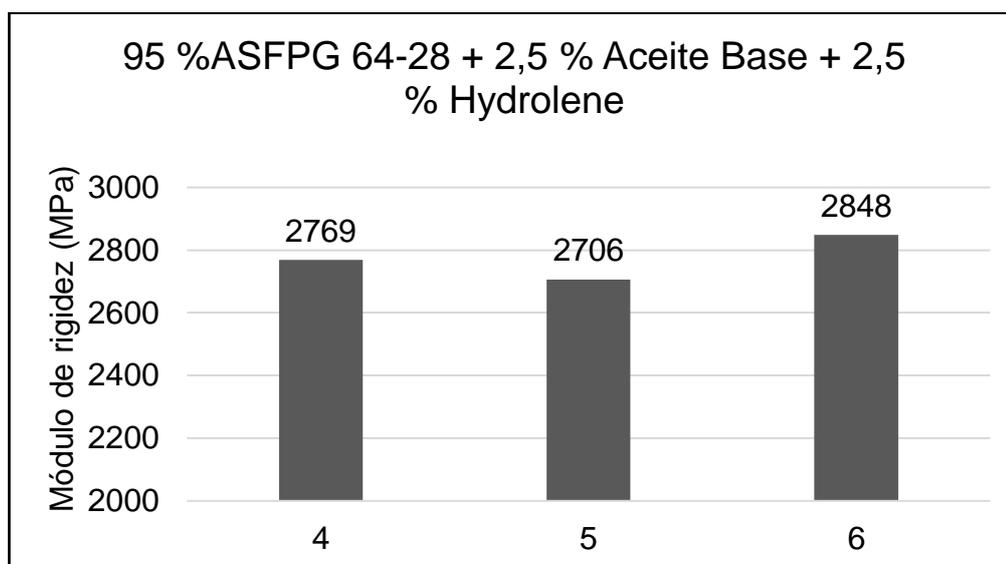
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2771 MPa, con una desviación estándar de 93 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 3,4%

**Tabla 4. 18 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 4**

MUESTRAS	MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C(MPa)
4	2769
5	2706
6	2848
<b>PROMEDIO</b>	<b>2774</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	<b>71</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>2,6</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 14 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 4**

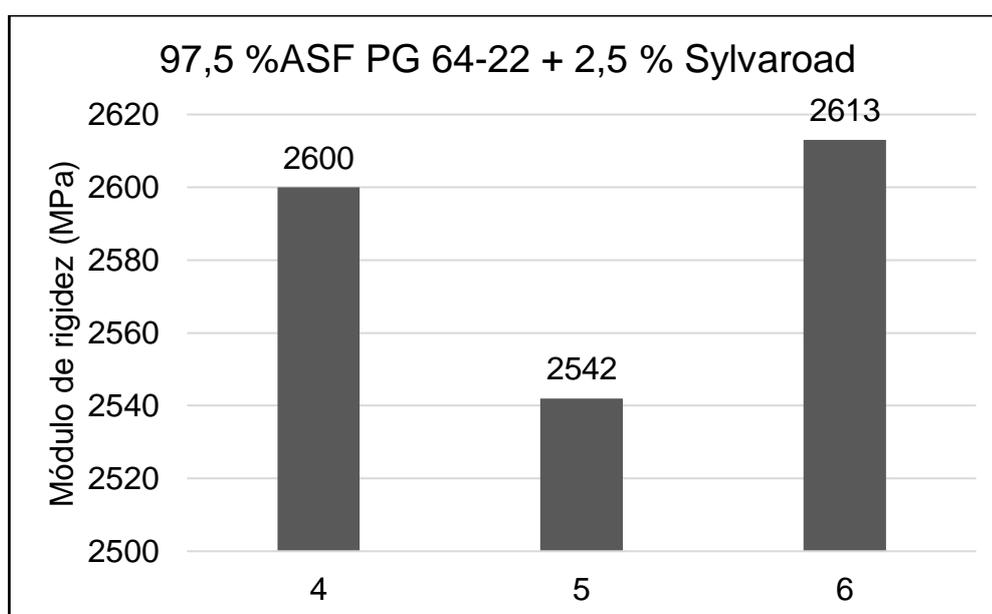
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2774 MPa, con una desviación estándar de 71 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 2,6%

**Tabla 4. 19 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 5**

<b>MUESTRAS</b>	<b>MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C(MPa)</b>
4	2600
5	2542
6	2613
<b>PROMEDIO</b>	<b>2558</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	49
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	1,9

Fuente: Autores



**Figura 4. 15 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 5**

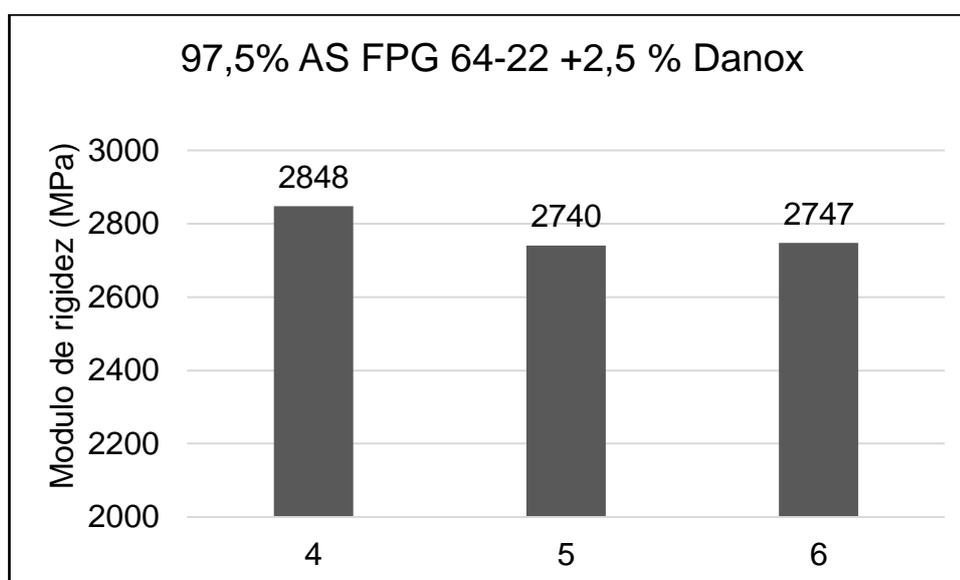
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2558 MPa, con una desviación estándar de 49 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 1,9%

**Tabla 4. 20 Resultados del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 6**

<b>MUESTRAS</b>	<b>MÓDULO DE RIGIDEZ A 20°C(MPa)</b>
4	2848
5	2740
6	2747
<b>PROMEDIO</b>	<b>2778</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	60
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	2,2

Fuente: Autores



**Figura 4. 16 Gráfico de barras del ensayo Módulo de Rigidez en la  
Combinación 6**

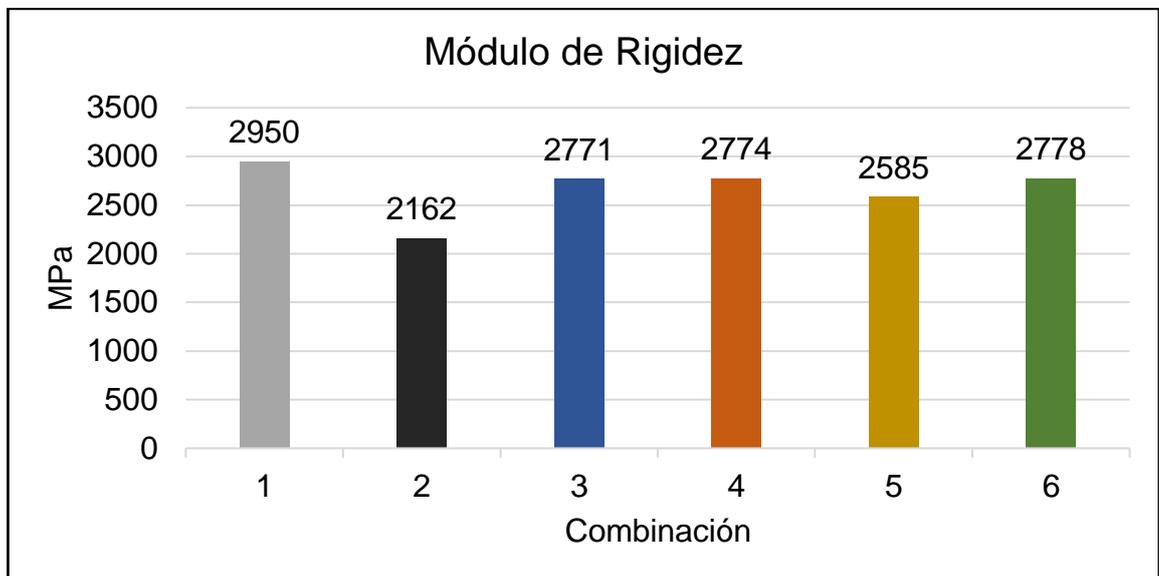
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo para el módulo de rigidez un valor promedio de 2778 MPa, con una desviación estándar de 60 MPa lo que originó un coeficiente de variación de 2,2%

**Tabla 4. 21 Valores promedios en las pruebas de módulo de rigidez**

Combinación	Promedio (MPa)
1	2950
2	2162
3	2771
4	2774
5	2558
6	2778

**Fuente:** Autores



**Figura 4. 17 Gráfico de los valores promedios de módulo de rigidez**

**Fuente:** Autores

En la Tabla 4.20 y en la Figura 4.15 se registran los valores promedio de cada combinación, y es de notar la variación de sus módulos debido a las diferentes proporciones y tipos de rejuvenecedores y aceite base, respecto a la mezcla con asfalto sin modificar.

Analizando los valores promedios se puede observar que la mezcla con asfalto PG 64-22 (Combinación 1), es la que presenta un mayor valor con 2959 MPa, lo que denota una mezcla “tolerable” considerando los rangos de la propuesta de exigencias para pruebas de desempeño con equipo NAT desarrolladas por el Laboratorio de Carreteras de la UCSG. Además, se observa que la inclusión de los rejuvenecedores y el aceite base disminuye el valor del módulo de rigidez, no obstante, casi todas las combinaciones siguen clasificando como mezclas tolerables. La única excepción es la Combinación 2 con un valor de 2162 MPa, clasificando como una mezcla inadecuada.

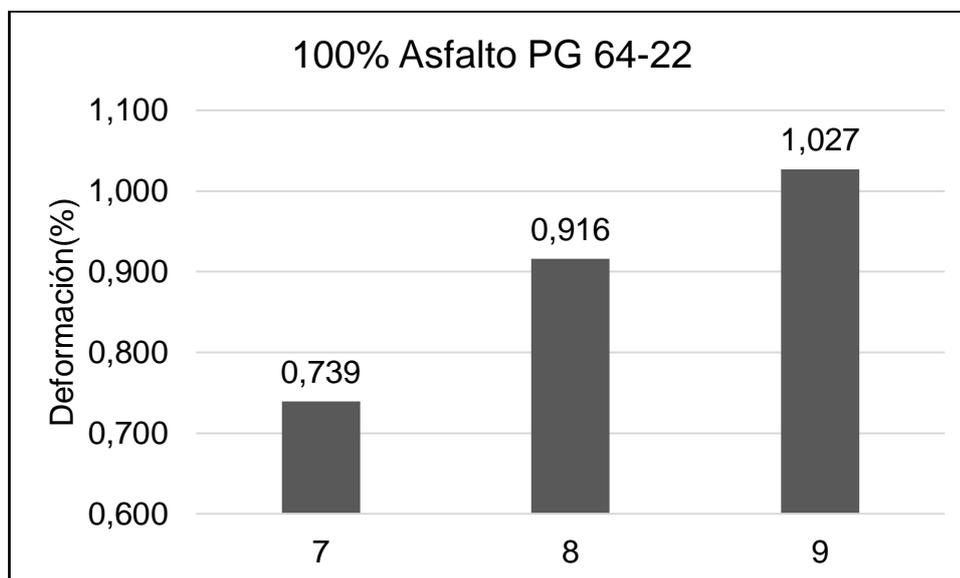
#### 4.4 Resultados del ensayo de deformación permanentes bajo compresión cíclica uniaxial (Creep)

Se puede ver que desde las tablas 4.22 a 4.27 se reflejan los resultados de cada una de las briquetas ensayadas para todas las combinaciones de esta investigación respecto a su deformación bajo compresión cíclica.

**Tabla 4. 22 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 1**

MUESTRAS	PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN
7	0,739
8	0,916
9	1,027
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,894</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	<b>0,125</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>14</b>

Fuente: Autores



**Figura 4. 18 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 1**

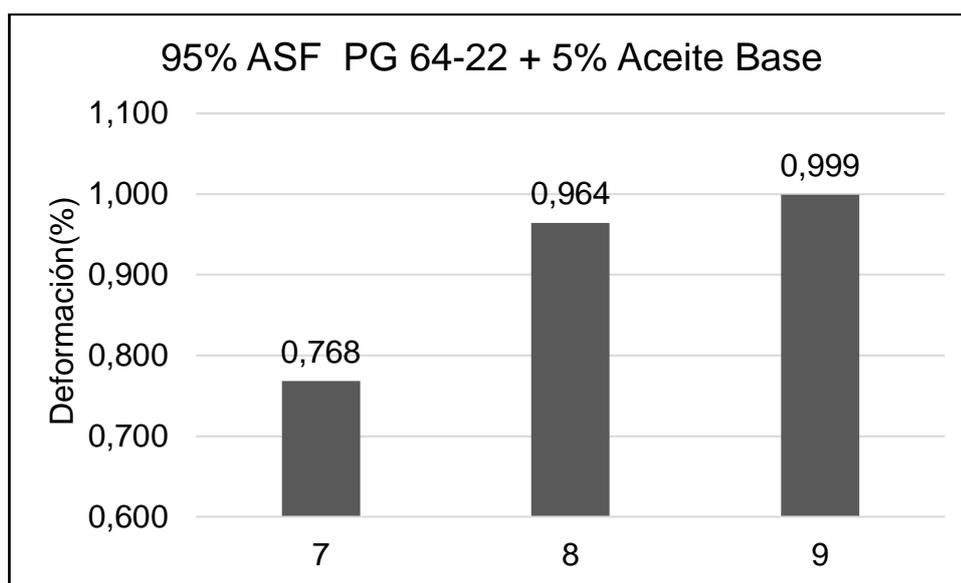
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,894% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,125% lo que originó un coeficiente de variación de 14%

**Tabla 4. 23 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 2**

<b>MUESTRAS</b>	<b>PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN</b>
7	0,768
8	0,964
9	0,999
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,910</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	0,125
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	13,676

Fuente: Autores



**Figura 4. 19 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 2**

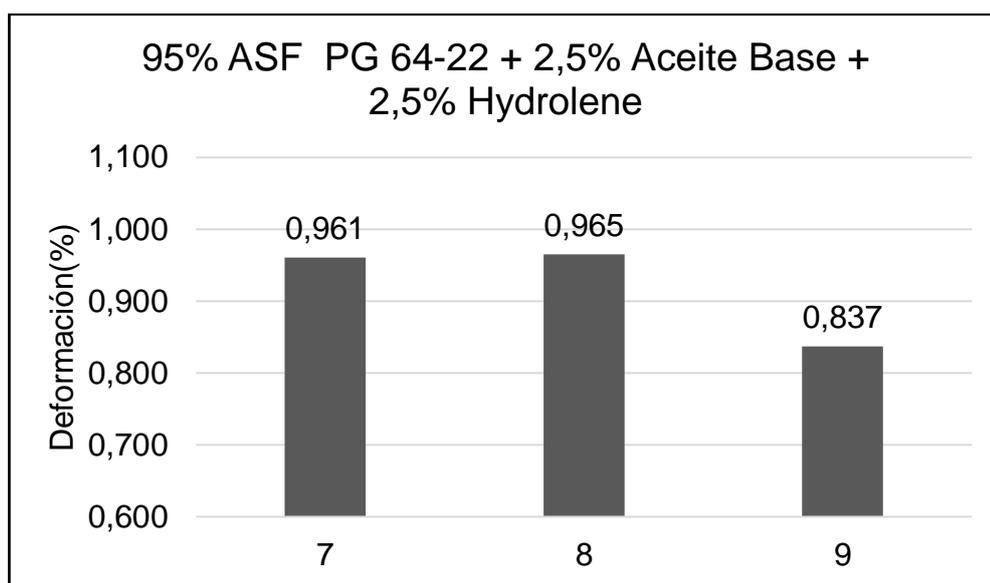
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,910% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,125% lo que originó un coeficiente de variación de 13,676%

**Tabla 4. 24 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 3**

<b>MUESTRAS</b>	<b>PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN</b>
7	0,961
8	0,965
9	0,837
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,921</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	0,073
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	7,902

Fuente: Autores



**Figura 4. 20 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 3**

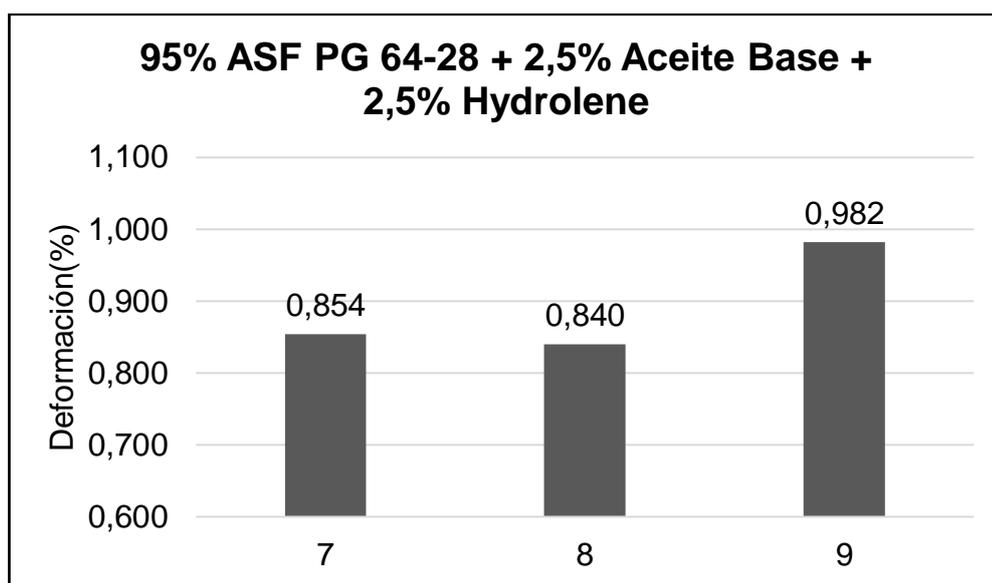
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,921% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,073% lo que originó un coeficiente de variación de 7,902%

**Tabla 4. 25 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 4**

<b>MUESTRAS</b>	<b>PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN</b>
7	0,854
8	0,840
9	0,982
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,892</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	0,078
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	8,773

Fuente: Autores



**Figura 4. 21 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 4**

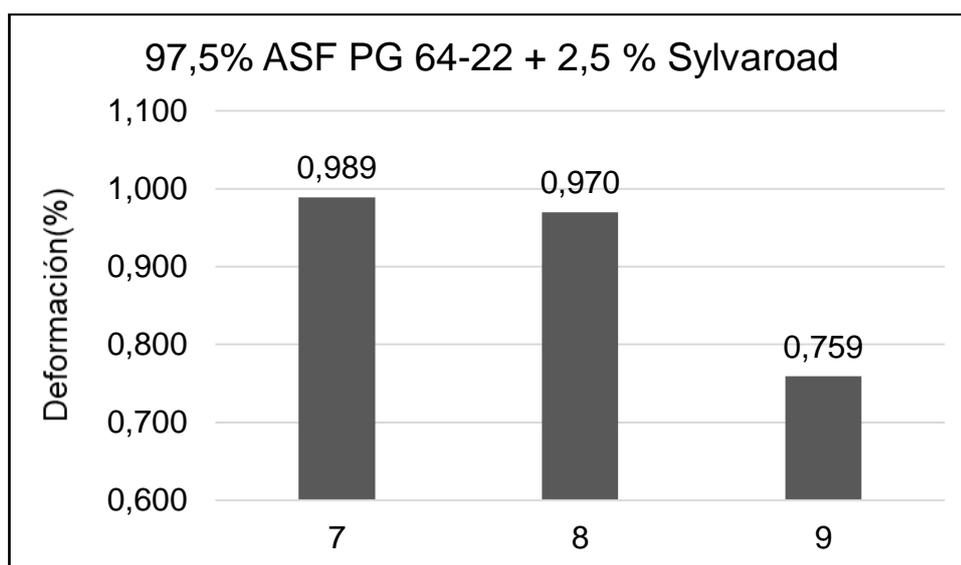
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,892% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,078% lo que originó un coeficiente de variación de 8,773%

**Tabla 4. 26 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 5**

<b>MUESTRAS</b>	<b>PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN</b>
7	0,989
8	0,970
9	0,759
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,906</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	0,128
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	14,090

Fuente: Autores



**Figura 4. 22 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 5**

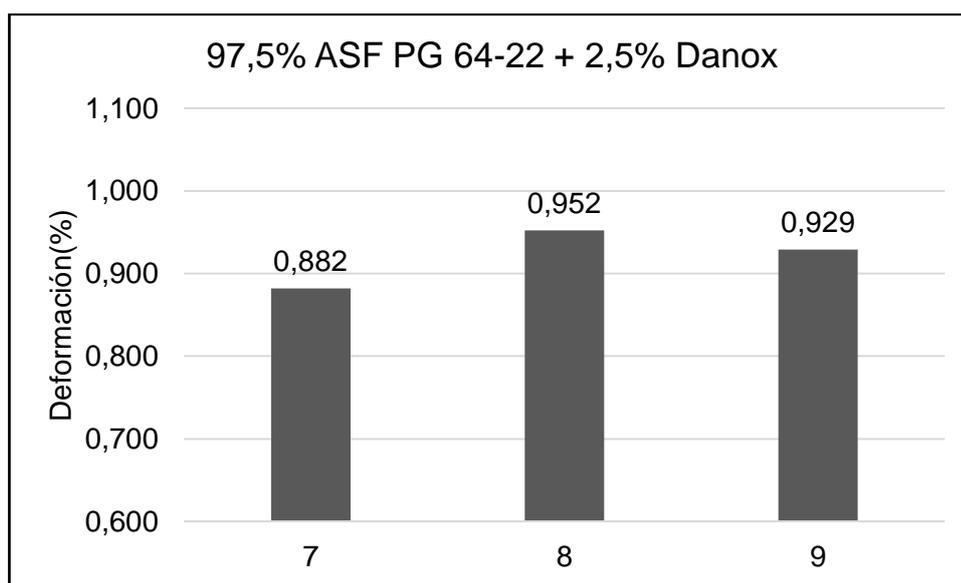
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,906% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,128% lo que originó un coeficiente de variación de 14,090%

**Tabla 4. 27 Resultados del ensayo Creep en la Combinación 6**

<b>MUESTRAS</b>	<b>PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN</b>
7	0,882
8	0,952
9	0,929
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,921</b>
<b>DES. ESTÁNDAR</b>	0,036
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	3,874

Fuente: Autores



**Figura 4. 23 Gráfico de barras del ensayo Creep en la Combinación 6**

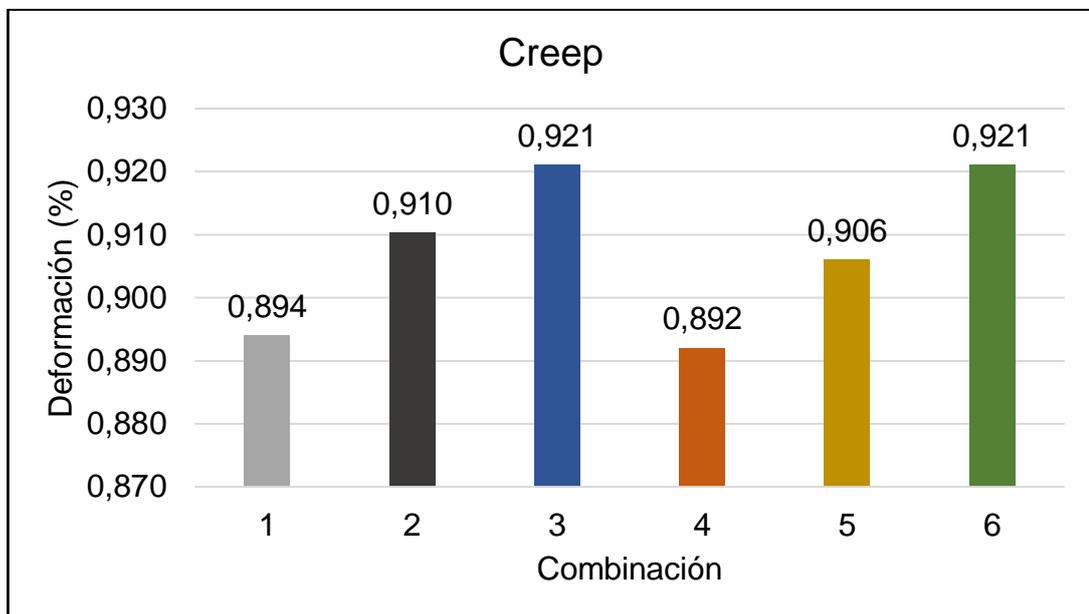
Fuente: Autores

En esta combinación se obtuvo un valor promedio de 0,921% de deformación permanente, con una desviación estándar de 0,036% lo que originó un coeficiente de variación de 3,874%

**Tabla 4. 28 Tabla de comparación del promedio en el ensayo Creep**

Combinación	Promedio de deformación (%)
1	0,894
2	0,910
3	0,921
4	0,892
5	0,906
6	0,921

**Fuente:** Autores



**Figura 4. 24 Gráfico comparativo de promedios en el ensayo Creep**

**Fuente:** Autores

Analizando los valores promedios de las briquetas se observó que las seis mezclas tienen valores por debajo del 1% de deformación, lo que indica que las mezclas se van a comportar satisfactoriamente frente a la deformación plástica. Este criterio parte de la propuesta de exigencias para pruebas de

desempeño con equipo NAT elaborada por el Laboratorio de Carreteras de la UCSG.

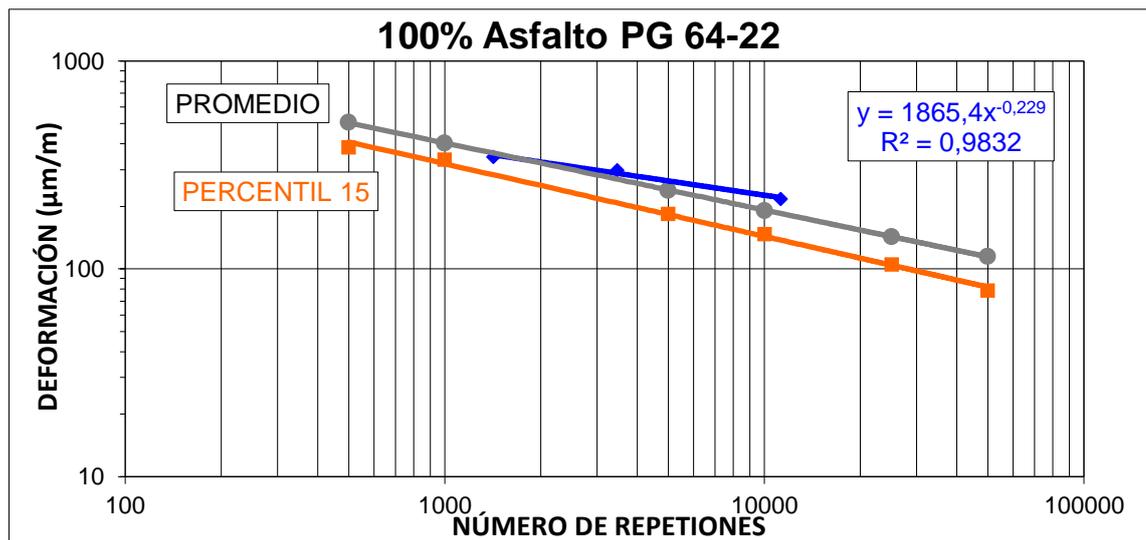
#### 4.5 Resultado del ensayo Fatiga

Los resultados de los ensayos a fatiga se exponen desde la tabla 4.29 hasta la 4.34 y en lo que respecta a las figuras van desde la 4.25 hasta la 4.31.

**Tabla 4. 29 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 1**

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
250			
300	11241	217	2836
350			
400	3461	299	2743
450	1421	347	2662
500			

Fuente: Autores



**Figura 4. 25 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 1**

Fuente: Autores

Tabla 4. 30 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 2

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
200			
250	5411	375	1367
300	1751	497	1238
350	541	623	1152
400			

Fuente: Autores

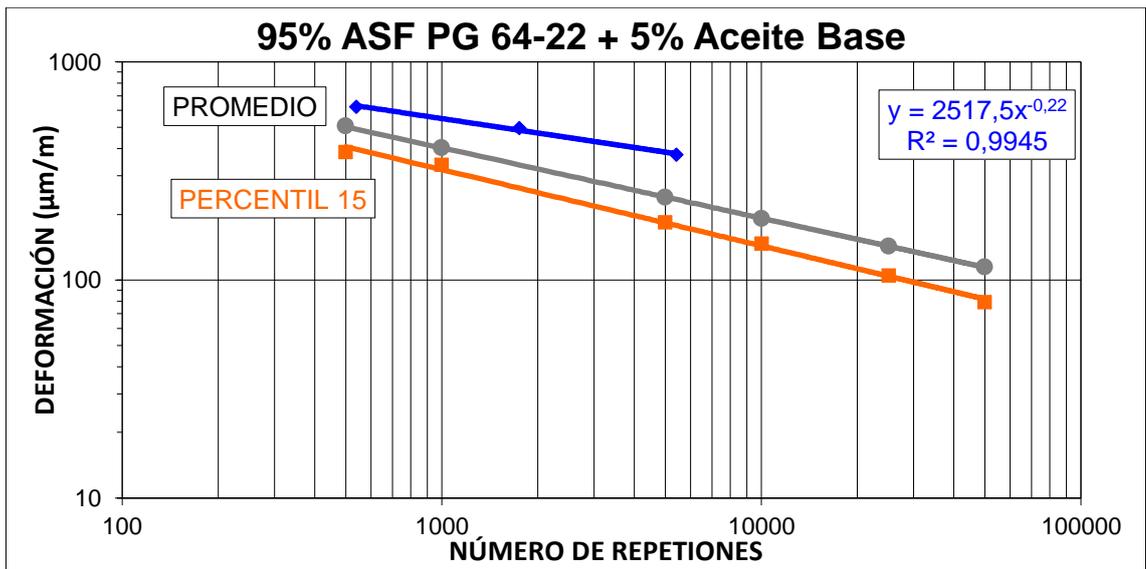


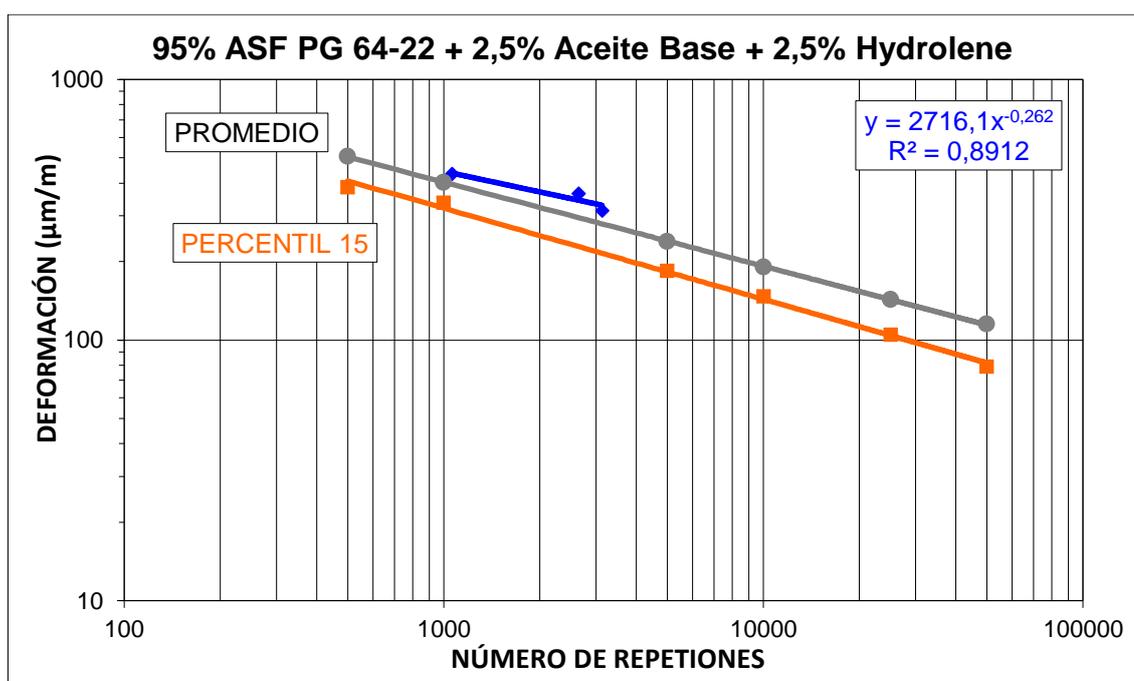
Figura 4. 26 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 2

Fuente: Autores

**Tabla 4. 31 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 3**

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
250			
300	3131	314	1961
350	2641	364	1969
400	1061	433	1893
450			

Fuente: Autores



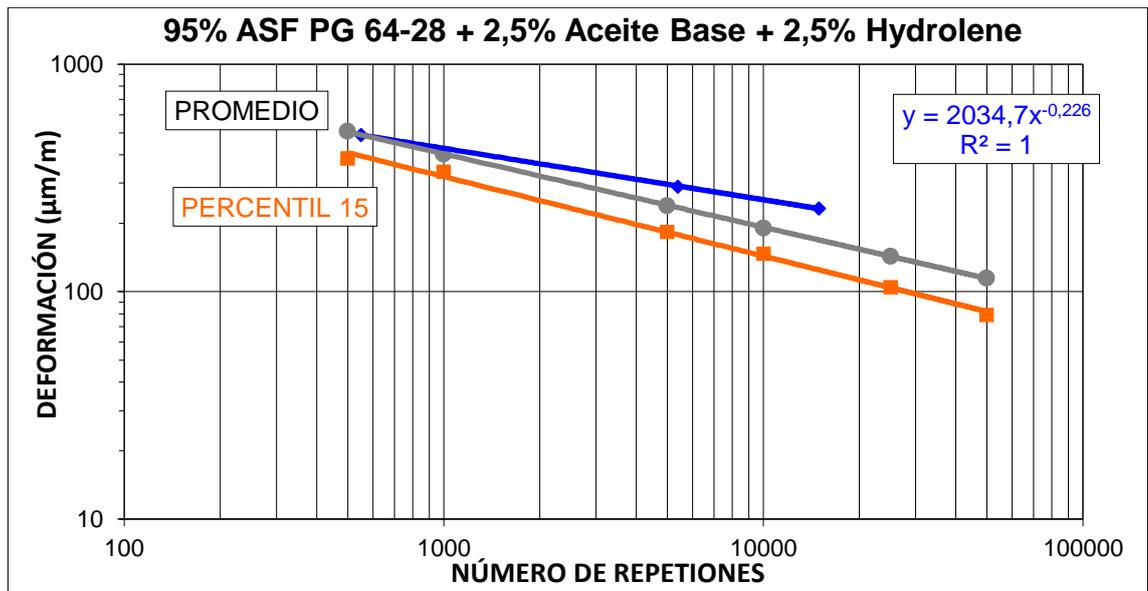
**Figura 4. 27 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 3**

Fuente: Autores

**Tabla 4. 32 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 4**

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
200			
250	14921	232	2207
300	5401	291	2114
350			
400	551	489	1677
450			

Fuente: Autores



**Figura 4. 28 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 4**

Fuente: Autores

Tabla 4. 33 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 5

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
200			
250	13491	227	2260
300	3591	319	1926
350			
400	1041	539	1520
450			

Fuente: Autores

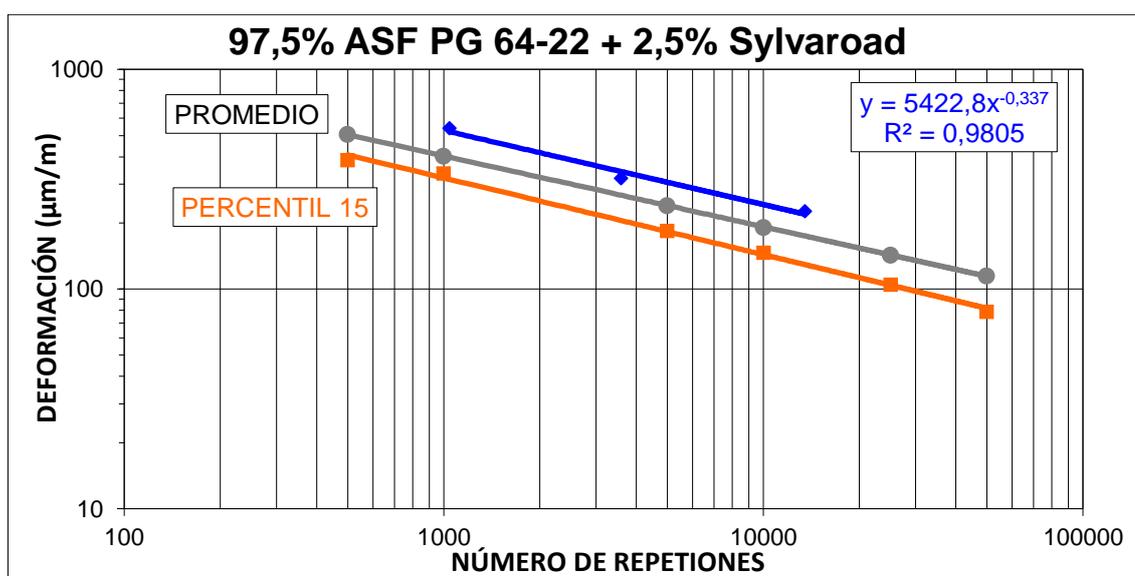


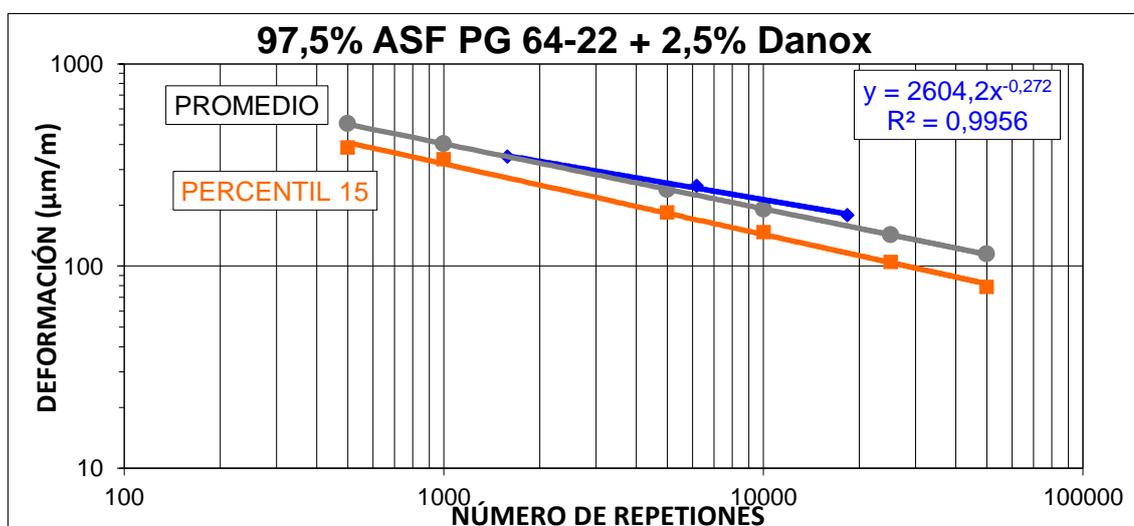
Figura 4. 29 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 5

Fuente: Autores

**Tabla 4. 34 Resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 6**

ESFUERZO (KPa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (x 10 <sup>-6</sup> )	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPa)
200			
250	18281	179	2870
300	6171	250	2464
350			
400	1581	348	2355
450			

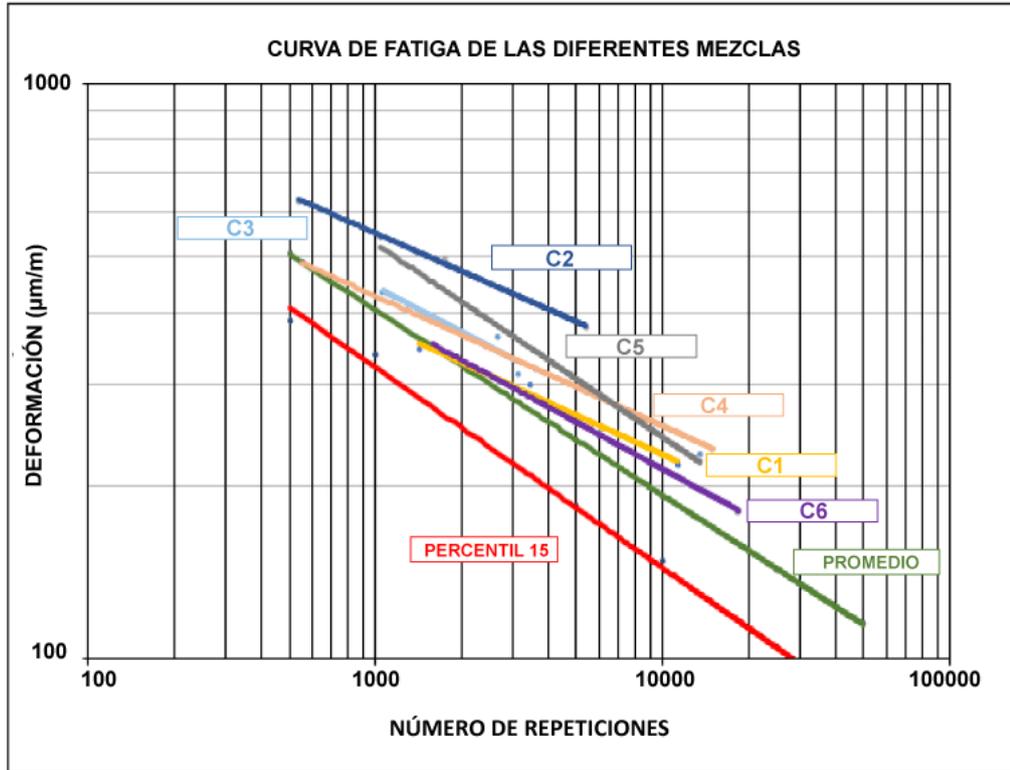
Fuente: Autores



**Figura 4. 30 Gráfico de los resultados del ensayo Fatiga en la Combinación 6**

Fuente: Autores

Para valorar la resistencia a la fatiga se tiene que analizar las gráficas de número de repeticiones vs deformación de cada mezcla utilizada. La segunda mezcla presenta el mejor comportamiento frente a la fatiga ya que la curva promedio se encuentra muy por debajo de la curva de la mezcla previamente mencionada. Las mezclas 1 y 6 se encuentran muy cercanas a la curva promedio por lo que habría que tener especial cuidado, no obstante, ambas cumplen con los criterios propuestos por el Laboratorio de Carreteras de la UCSG para pruebas de desempeño con equipo NAT.



**Figura 4. 31 Curva de fatiga en las diferentes combinaciones**

**Fuente:** Autores

Como se nota en la Figura 4.29. todas las combinaciones cumplen con los criterios propuestos por el Laboratorio de Carreteras de la UCSG para pruebas de desempeño con equipo NAT. El criterio exige que las curvas que estén por encima de la curva promedio para presentar un comportamiento adecuado frente a la fatiga.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

1.- Los valores promedios de estabilidad Marshall de las seis combinaciones de mezclas confeccionadas con las correspondientes combinaciones de ligantes, cumplen con el valor mínimo fijado en 1800 libras para carreteras con tráfico pesado. Llama la atención que en la mayoría de las combinaciones se presentan valores excesivamente altos. Por otro lado, al analizar los valores de flujo, un total de cuatro de las seis mezclas cumplen con el rango que establece la especificación para dicho tráfico (0.08 a 0.14 pulgadas), quedando las combinaciones No. 2 y 4 fuera del mismo.

2.- Al evaluar el daño en agua en las mezclas asfálticas analizadas mediante el ensayo TSR, se observa que las combinaciones No. 1, 5 y 6 cumplen la exigencia, con valores calculados de resistencia retenida mayores a 80%, mientras que las combinaciones No. 2, 3 y 4 muestran valores inadecuados.

3.- La gran mayoría de las pruebas de desempeño con el equipo NAT dieron valores satisfactorios ya que cumplen con las exigencias propuestas por el Laboratorio de Asfaltos de la UCSG para pruebas de desempeño. La mezcla de la Combinación No. 2 evaluada mediante el ensayo de módulo de rigidez es el único caso que resultó ser inadecuado. Todas las combinaciones analizadas cumplieron los requerimientos usuales para las pruebas de compresión cíclica uniaxial (Creep) y de fatiga con cabezal de tracción indirecta.

4.- Al analizar las leyes de fatiga desarrolladas para las seis mezclas se puede concluir que el uso de rejuvenecedores mejora dicho comportamiento y en general tiene el potencial para ayudar a evitar la falla prematura tipo piel de cocodrilo que se presenta comúnmente en las carreteras del Ecuador, y que constituye el principal problema de la pobre durabilidad de nuestras vías. La combinación No. 6 presenta una línea de tendencia muy parecida a la No. 1,

confeccionada con asfalto PG 64-22 sin modificar, encontrándose ambas muy cercanas a la línea límite superior de la exigencia en el gráfico, aunque cumpliendo la misma. Las líneas de fatiga de las restantes combinaciones se ubican por encima de las mencionadas y más alejadas de los límites de referencia, es decir, muestran un mejor comportamiento a la fatiga.

5.- A partir de los resultados obtenidos las mezclas que han presentado incumplimientos son las correspondientes a las combinaciones No. 2, 3 y 4. Es decir que las mezclas elaboradas con asfaltos modificados tanto con aceite base (No. 2) como mezclando dicho aceite con Hydrolene (No. 3 y 4) no satisfacen las exigencias establecidas. A partir de lo antes expresado puede afirmarse que las mezclas que cumplen sería la usual de asfalto PG 64-22 sin modificar (No. 1) y además las mezclas empleando los rejuvenecedores Sylvaroad de Kraton (No. 5) y Danox de Quimikao (No. 6). Sin embargo, hay que destacar que tanto la Combinación No. 1 como la No. 6 se encuentran en los límites de un comportamiento satisfactorio a la fatiga, según se expresó en la conclusión anterior, por lo que la Combinación No. 5 es sin dudas la que ofrece el mejor desempeño.

## **5.2 Recomendaciones**

1.-Ya que los rejuvenecedores Sylvaroad y Danox ofrecen los mejores resultados en este estudio preliminar, puede ampliarse el estudio aplicando combinaciones con otros agregados minerales.

2.- Se recomienda mantener un estricto control de temperatura ya que la mezcla, en caso de sobrecalentarse, podría evaporar los aditivos reflejando resultados alterados. Al contrario, en caso de enfriarse podría presentar altos porcentajes de vacíos.

3.-Continuar con el estudio utilizando otros rejuvenecedores con distintas características.

## CAPÍTULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Araiza Armenta, J. A. (2002). Manejo de planta de concreto asfáltico y construcción de carpeta.
- ASTM. (2004). *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures*. West Conshohocken: PA.
- Gamba, G., & Mercado, J. (2004). Concepción de un ensayo para establecer el efecto de la presión de poro en el deterioro por humedad de las mezclas asfálticas. Bucaramanga, Colombia: Universidad industrial de Santander.
- González, S. (2015). Estado del arte en el Estudio de la adherencia entre el asfalto y el agregado. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Hicks, R. (1991). *Moisture Damage in Asphalt Concrete*. Washington: Transportation Research Board.
- Institute, A. (1992). *Principios de la Construcción de pavimento de mezclas asfálticas en caliente MS-22*.
- Institute, A. (2008). *The Asphalt Handbook*.
- Kennedy, T. W., Roberts, F. L., & Anagnos, J. N. (1984). *Texas Boiling Test for Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures*. Austin: Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
- MOP, M. d. (2002). *Especificación Técnicas para la construcción de carreteras y puentes*. Quito: MOP-001-F2002.
- Normalización, I. E. (2014). *PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. CEMENTO ASFÁLTICO (CLASIFICACIÓN POR VISCOSIDAD)*. Quito, Ecuador.

- Nuñez, K. (2014). Estudio de Mezclas Asfálticas colocadas en vías de la Región Sierra del Ecuador mediante Pruebas de Desempeño. guayaquil: universidad catolica de santiago de guayaquil.
- Reyes, O. J., & Camacho, J. (8 de abril de 2008). *Influencia de la granulometria en la resistencia al ahuellamiento de mezclas asfalticas*. Obtenido de Revista científica Ingenieria y Desarrollo, No. 23 : <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/3027/4461>
- Sanabria, L., Correa, J., Hernandez, L., & Morales, P. C. (2000). *EVALUACION DEL ADITIVO REJUVENECEDOR DE ASFALTOS Y PAVIMENTOS*. Obtenido de [file:///C:/Users/jorge/Downloads/Evaluacion\\_Aditivo\\_Rejuvenecedor%20RESUMEN%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jorge/Downloads/Evaluacion_Aditivo_Rejuvenecedor%20RESUMEN%20(1).pdf)
- Vila Romani, R. (2015). Clases de la asignatura Pavimentos. *Clases de la asignatura Pavimentos*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil.
- Vila Romani, R. (2017). *Estudios y Propuestas sobre la calidad de los asfaltos y de las mezclas asfálticas en el Ecuador*. Guayaquil, Ecuador: Dirección de Publicaciones de la Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil.

## CAPÍTULO VII

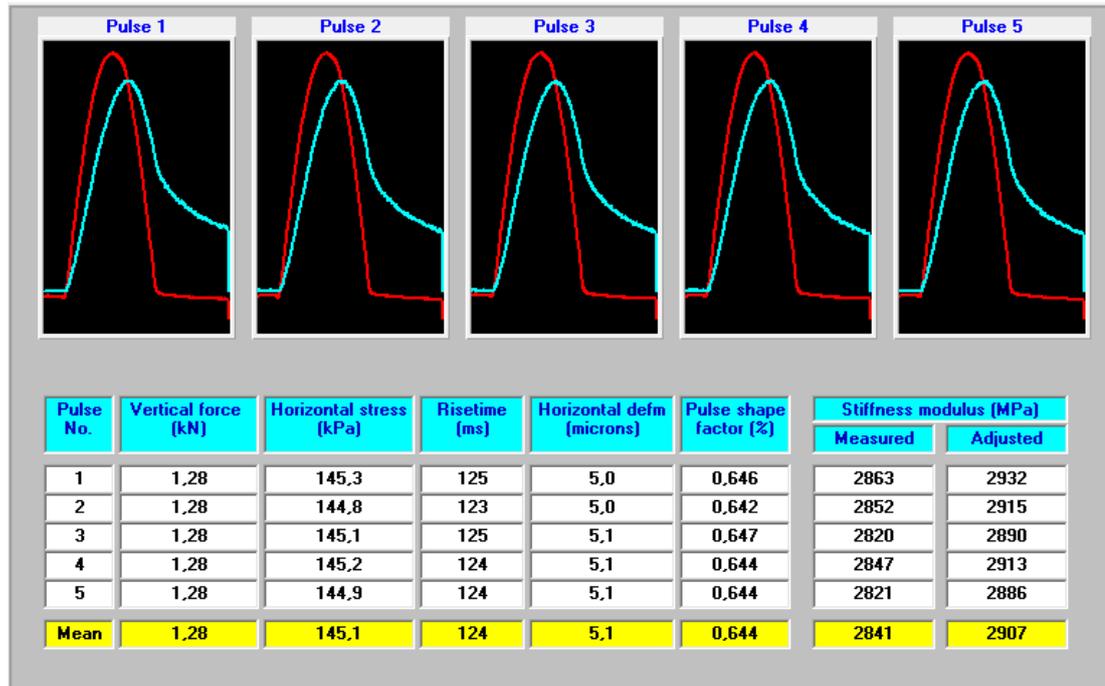
### 7. ANEXOS

#### Anexo 1 Densidades y porcentajes de vacíos promedios

Briqueta	PG 64-22:100%	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hydrolene: 2,5%	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%
Briquetas con 100% de densidad relativa						
<b>1</b>	2,486	2,496	2,496	2,50	2,51	2,5256
<b>2</b>	2,504	2,472	2,499	2,51	2,49	2,4873
<b>3</b>	2,475	2,491	2,499	2,52	2,51	2,5245
<b>4</b>	2,483	2,509	2,507	2,50	2,53	2,5183
<b>5</b>	2,492	2,484	2,513	2,51	2,52	2,5155
<b>6</b>	2,517	2,509	2,498	2,50	2,51	2,5151
<b>7</b>	2,473	2,494	2,496	2,51	2,52	2,5067
<b>8</b>	2,481	2,490	2,501	2,52	2,52	2,5154
<b>9</b>	2,494	2,493	2,497	2,53	2,50	2,4958
<b>10</b>	2,464	2,506	2,483	2,49	2,52	2,5180
<b>Promedio</b>	2,487	2,495	2,499	2,509	2,513	2,512
<b>D.S</b>	0,016	0,012	0,008	0,012	0,013	0,012
<b>C.V</b>	0,624	0,467	0,310	0,459	0,508	0,488
<b>RICE</b>	2,604	2,616	2,62	2,625	2,616	2,608
<b>% Vacios</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	<b>4,4</b>	<b>3,9</b>	<b>3,7</b>

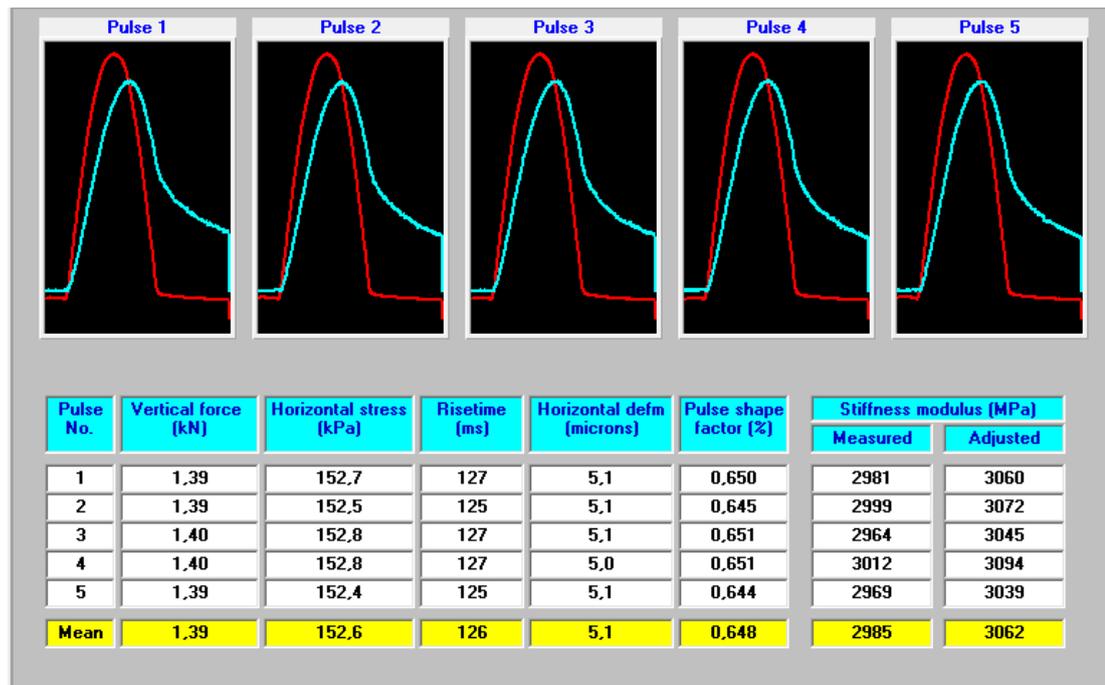
Briqueta	PG 64-22:100%	PG 64-22:95% Aceite base: 5%	PG 64-22: 95% Aceite base: 2,5% Hollyfrontier: 2,5%	PG 64-28: 95% Aceite base: 2,5% Hollyfrontier: 2,5%	PG 64-22: 97,5% Sylvaroad: 2,5%	PG 64-22: 97,5% Danox: 2,5%
Briquetas con 97% de densidad relativa						
<b>1</b>	2,422	2,445	2,437	2,438	2,421	2,412
<b>2</b>	2,438	2,440	2,444	2,450	2,423	2,437
<b>3</b>	2,427	2,440	2,450	2,445	2,431	2,427
<b>4</b>	2,431	2,442	2,446	2,433	2,431	2,426
<b>5</b>	2,431	2,447	2,427	2,452	2,426	2,426
<b>6</b>	2,433	2,446	2,441	2,428	2,420	2,427
<b>Promedio</b>	2,430	2,443	2,441	2,441	2,425	2,426
<b>D.S</b>	0,005	0,003	0,008	0,010	0,005	0,008
<b>C.V</b>	0,222	0,130	0,338	0,398	0,199	0,333
<b>RICE</b>	2,604	2,616	2,62	2,625	2,616	2,608
<b>% Vacios</b>	<b>6,7</b>	<b>6,6</b>	<b>6,8</b>	<b>7,0</b>	<b>7,3</b>	<b>7,0</b>

## Anexo 2 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 1° Combinación



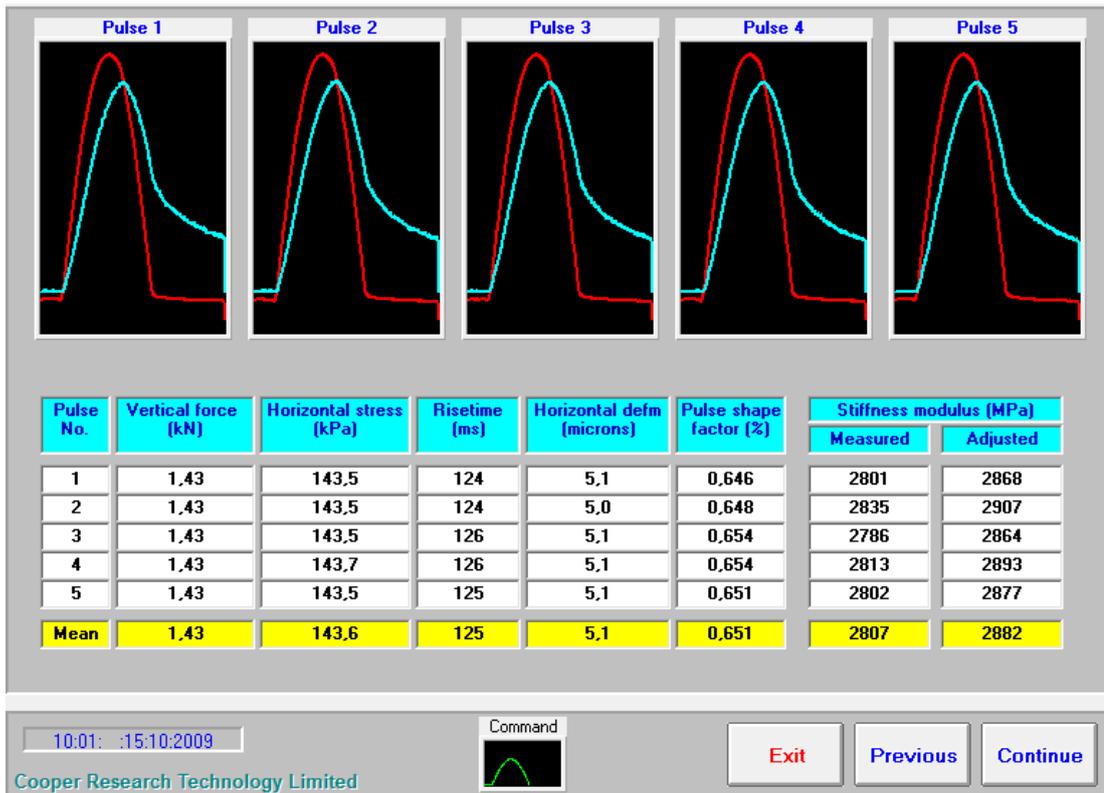
10:01: :15:10:2009 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

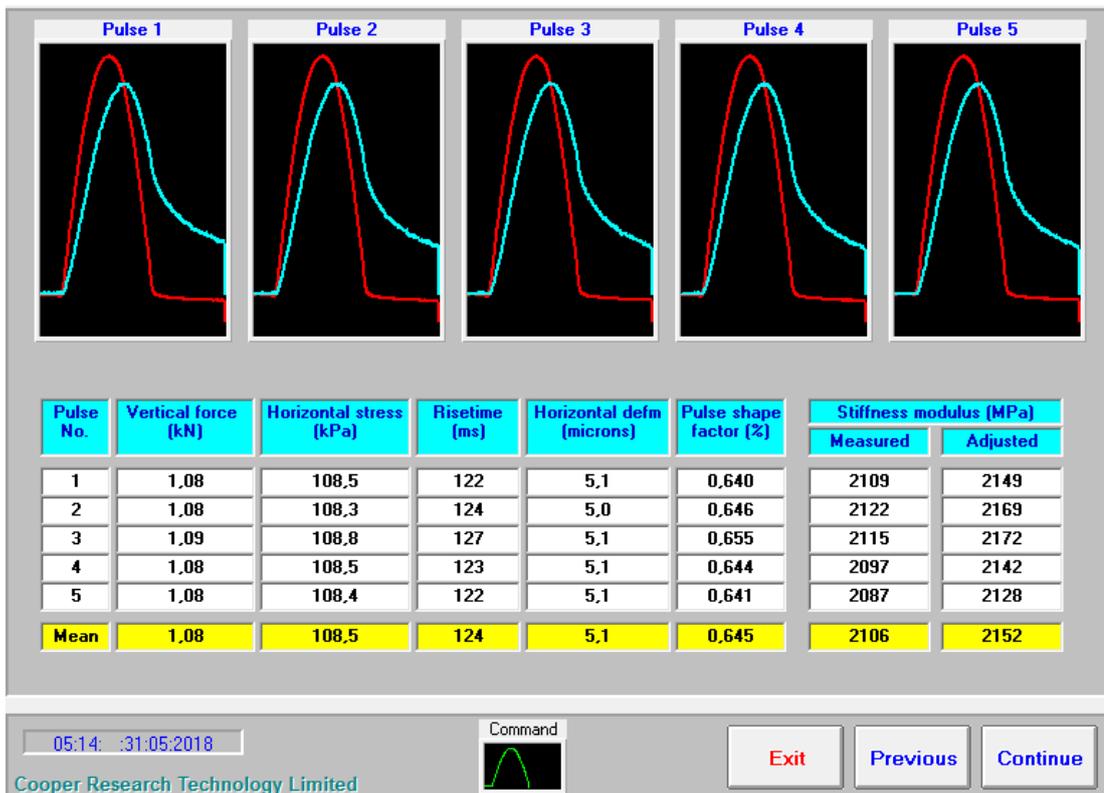


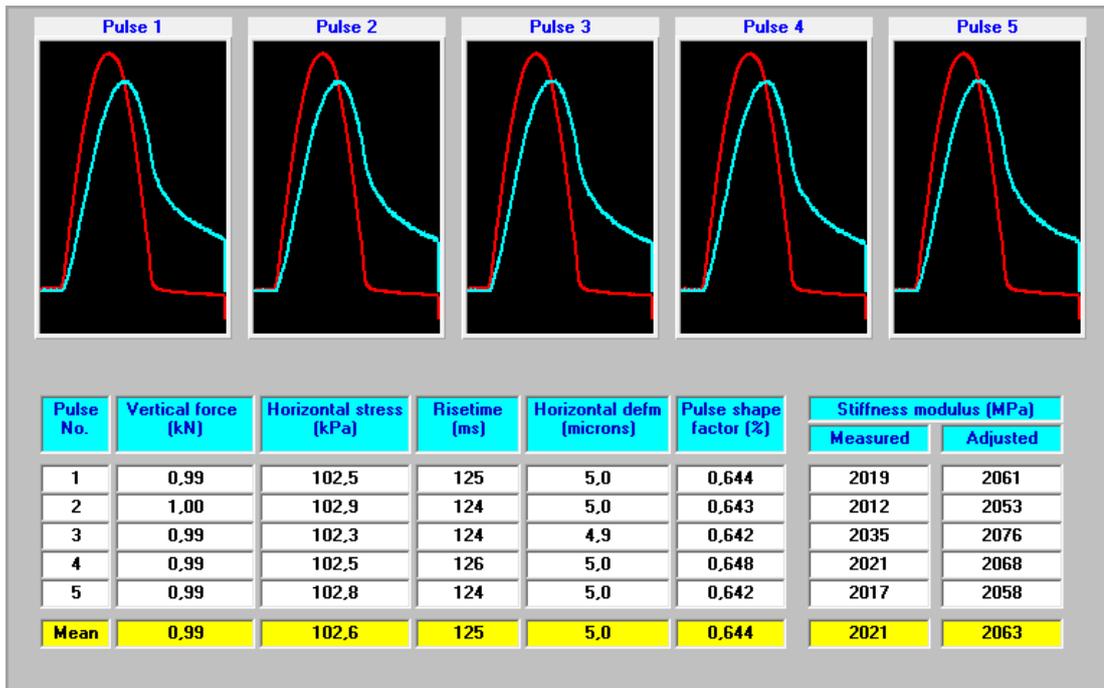
10:01: :15:10:2009 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



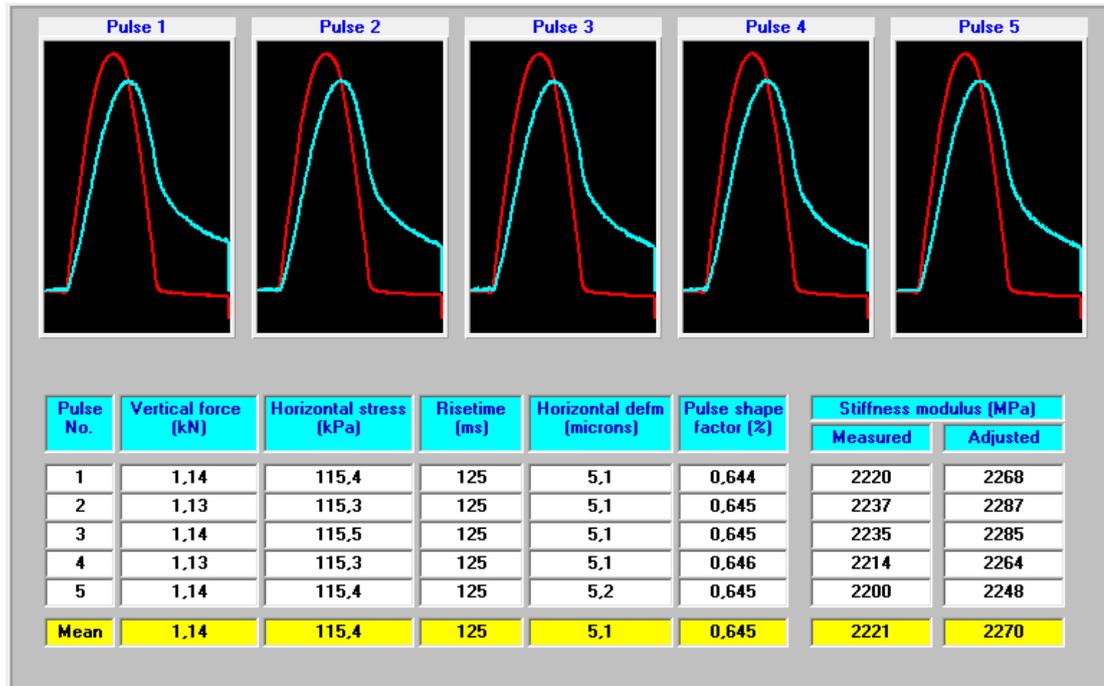
### Anexo 3 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 2° Combinación





05:15 :31:05:2018 Command  Exit Previous Continue

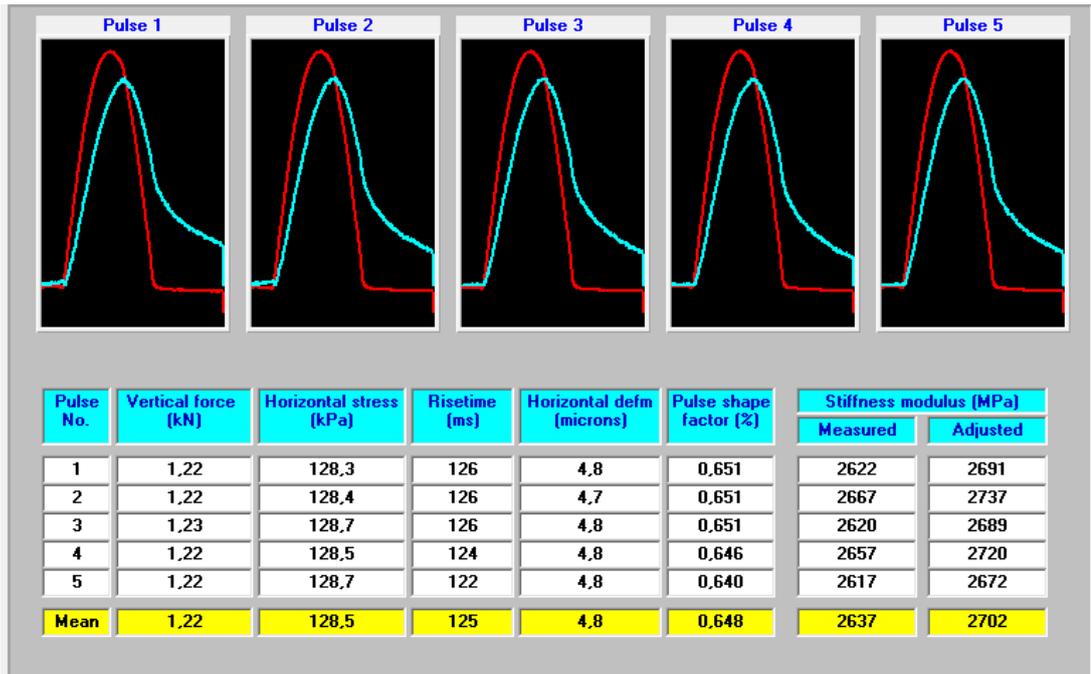
Cooper Research Technology Limited



06:14 :11:06:2018 Command  Exit Previous Continue

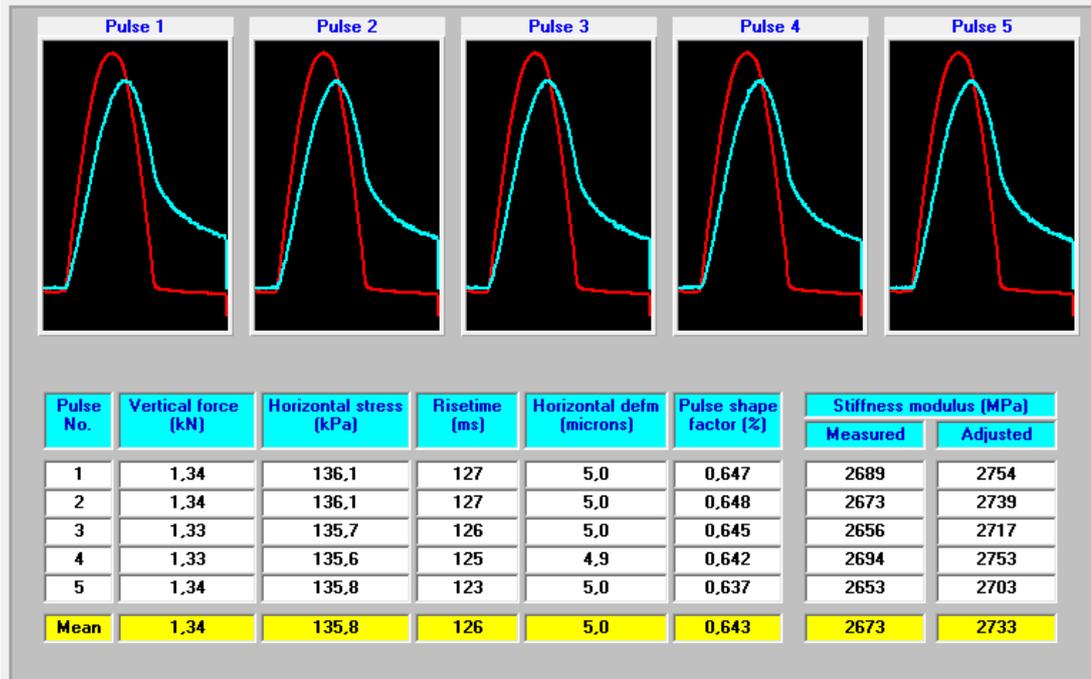
Cooper Research Technology Limited

## Anexo 4 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 3° Combinación



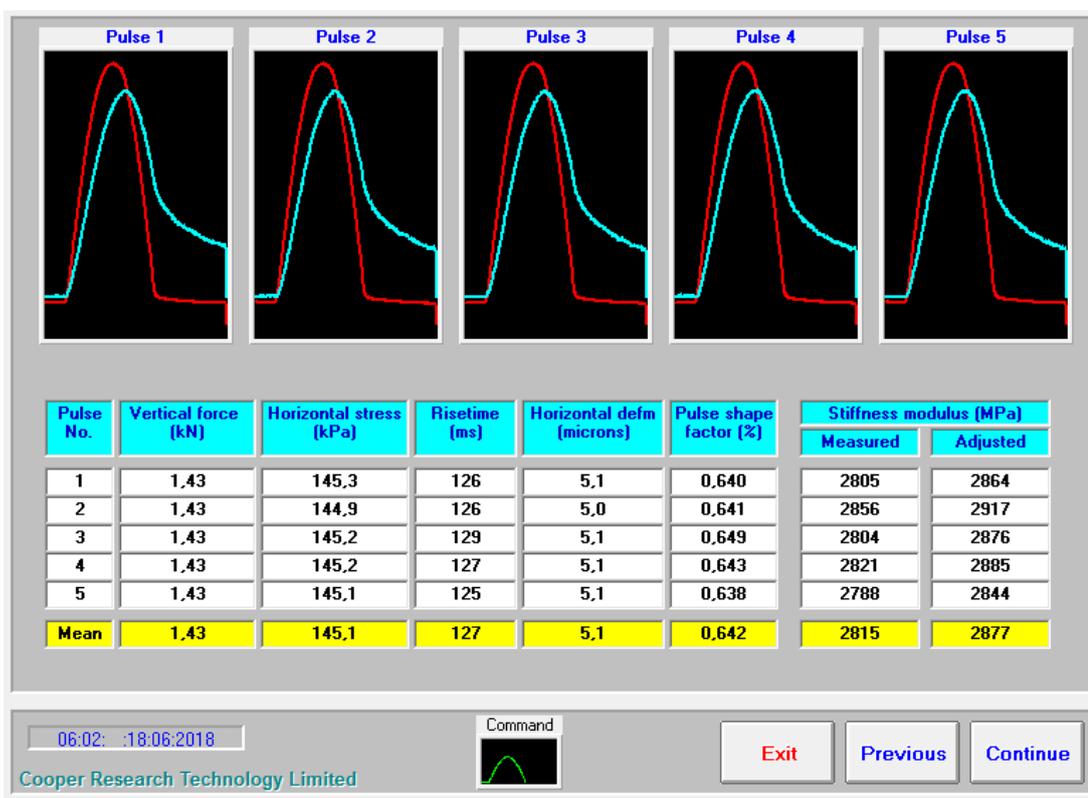
06:05 :18:06:2018 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

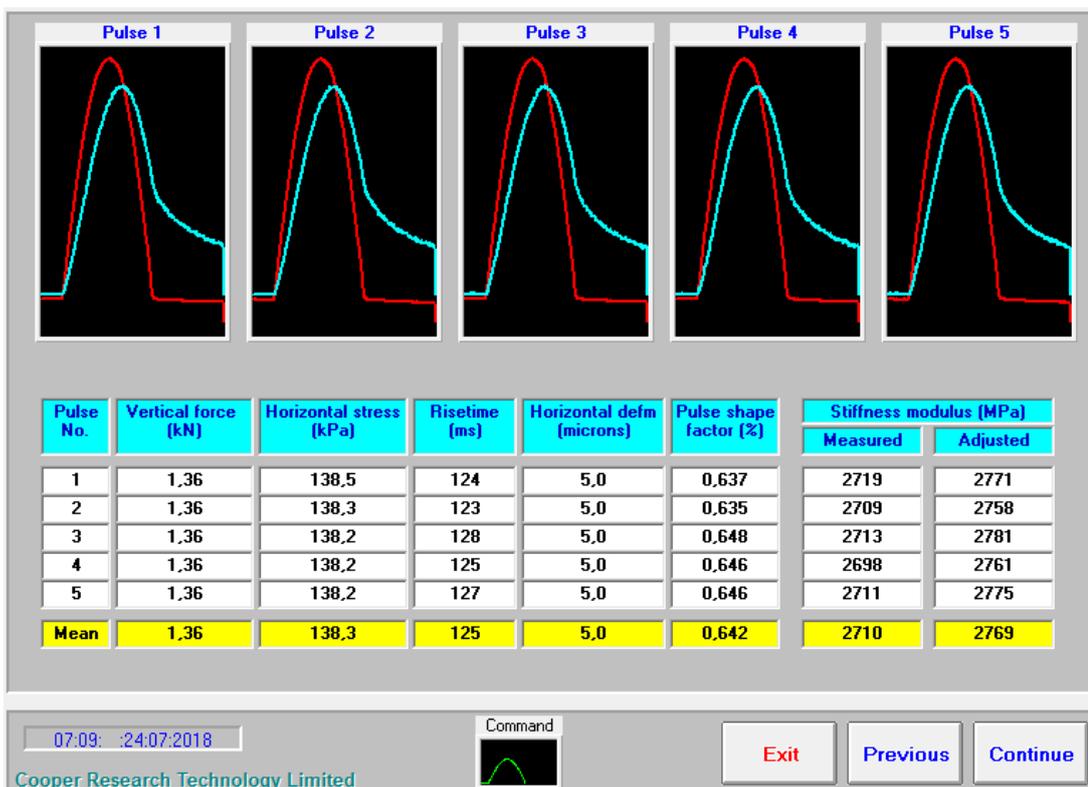


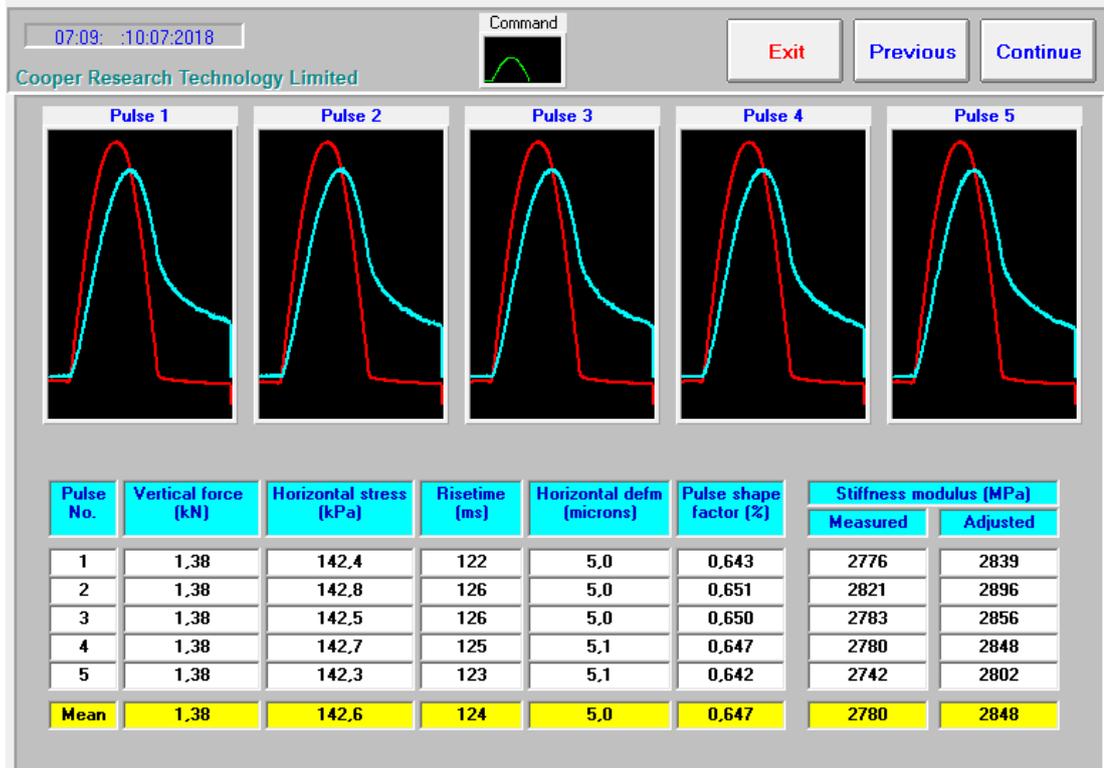
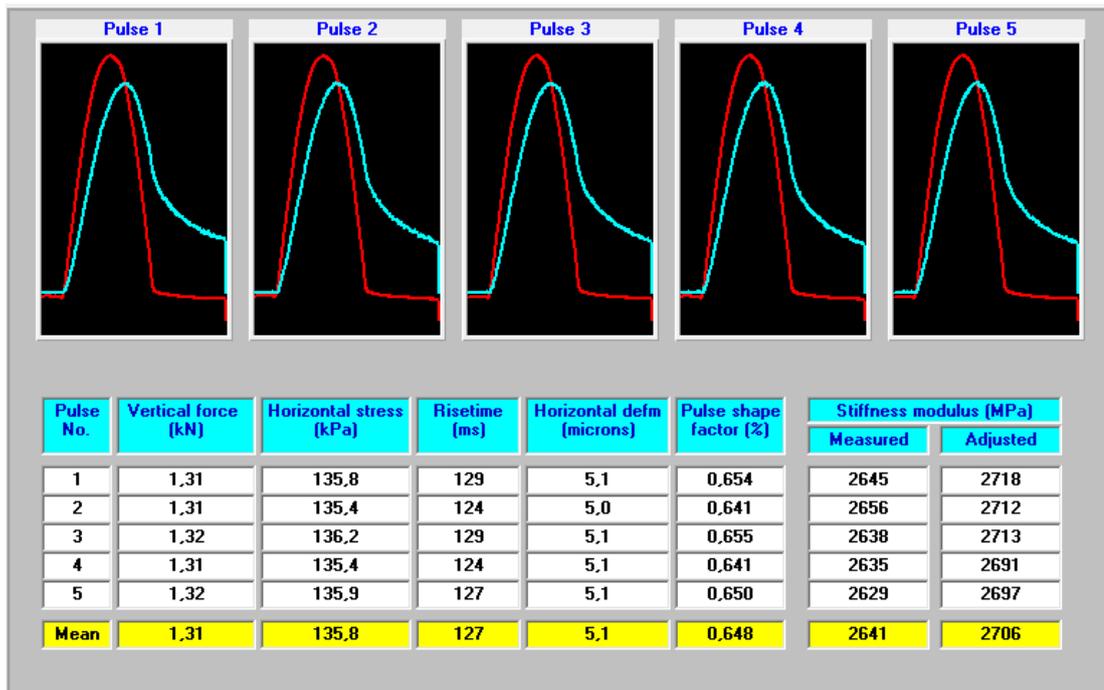
10:02 :15:10:2009 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

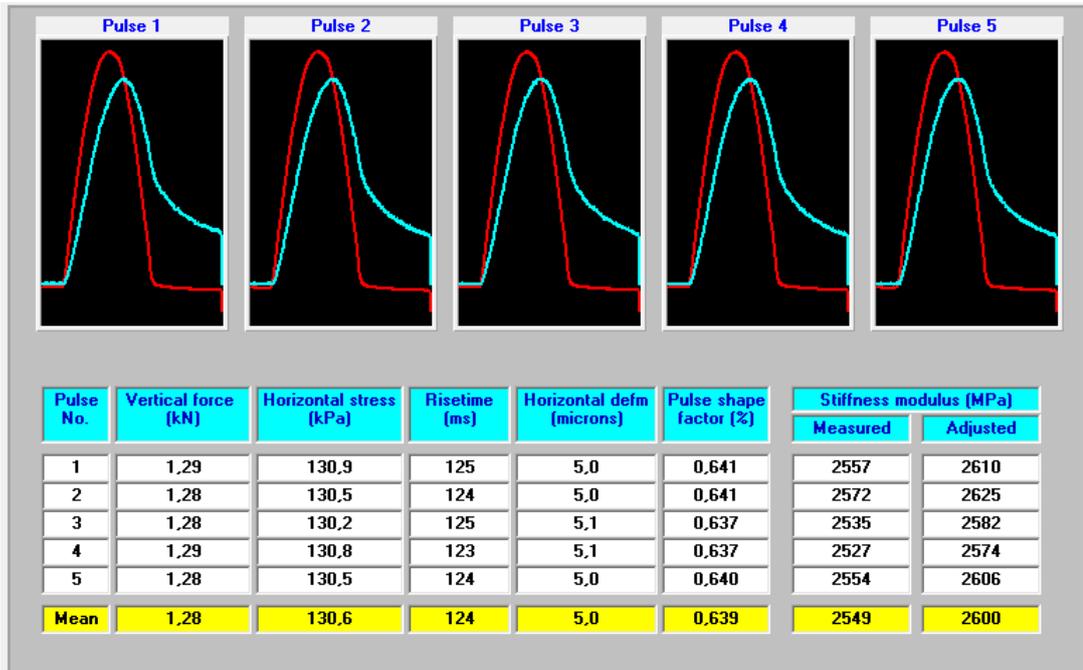


### Anexo 5 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 4° Combinación



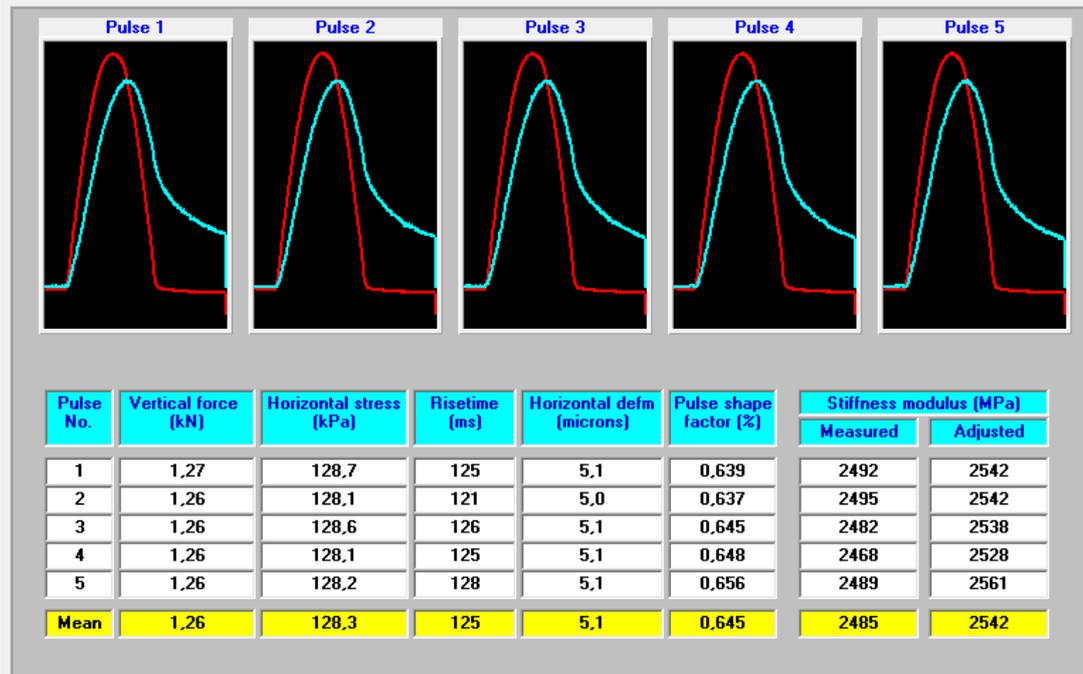


## Anexo 6 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 5° Combinación



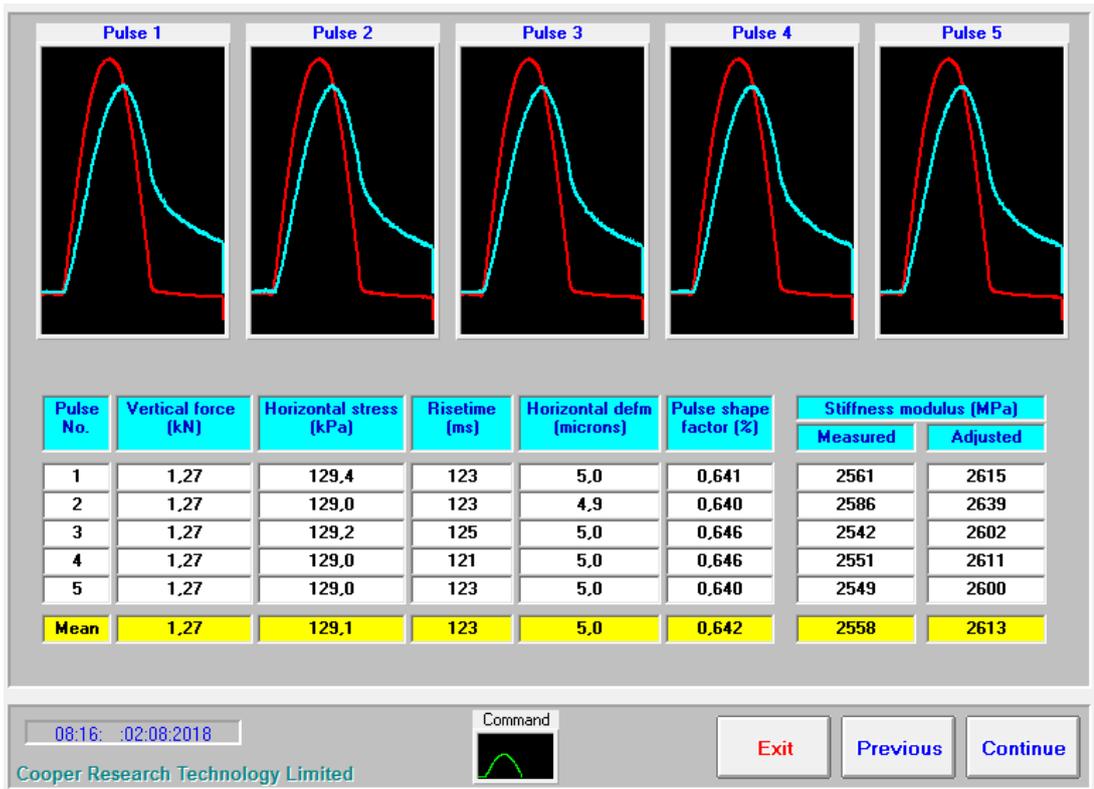
07:00 :25:07:2018 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

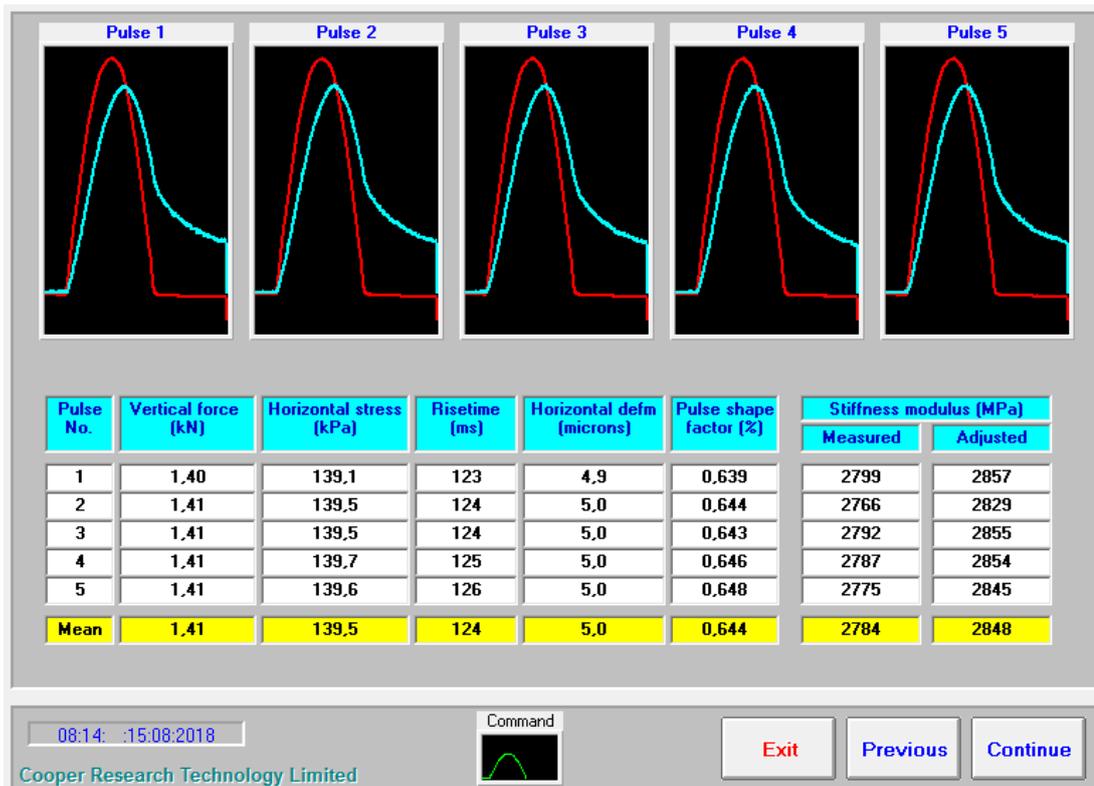


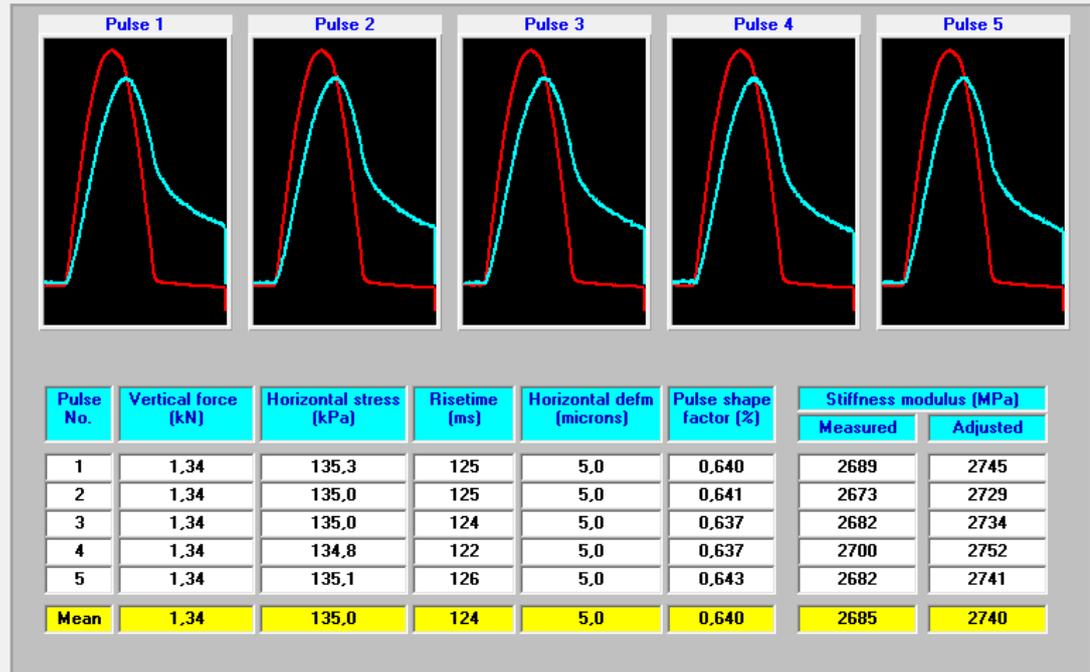
07:00 :25:07:2018 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



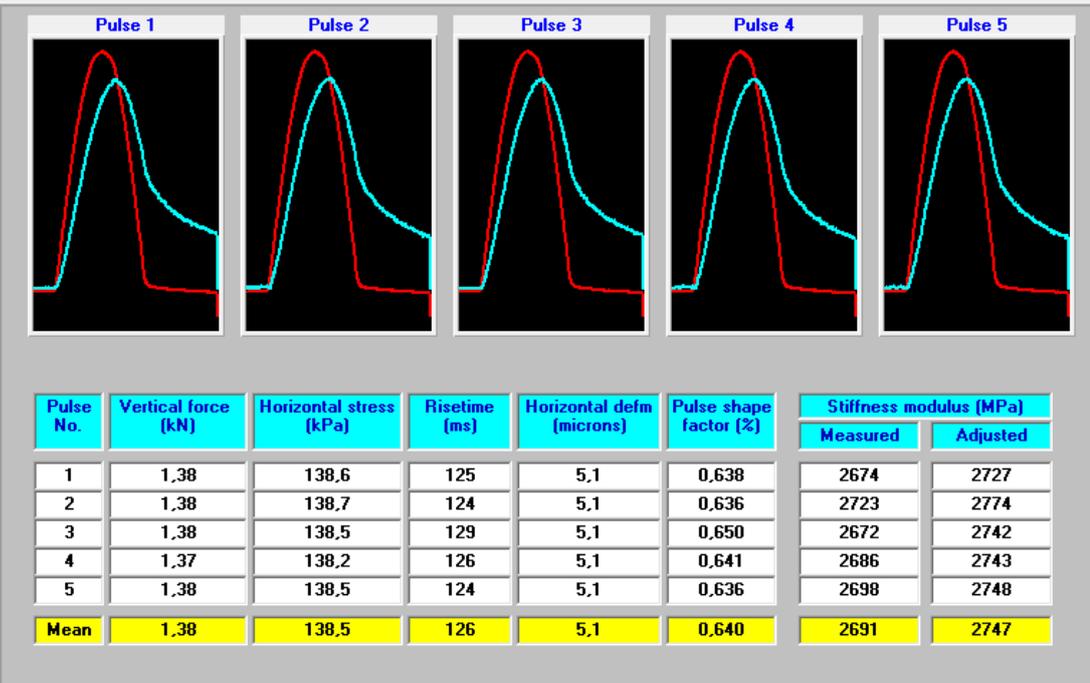
### Anexo 7 Salida de resultados del equipo NAT para módulo de rigidez en la 6° Combinación





08:15 :14:08:2018 Command  Exit Previous Continue

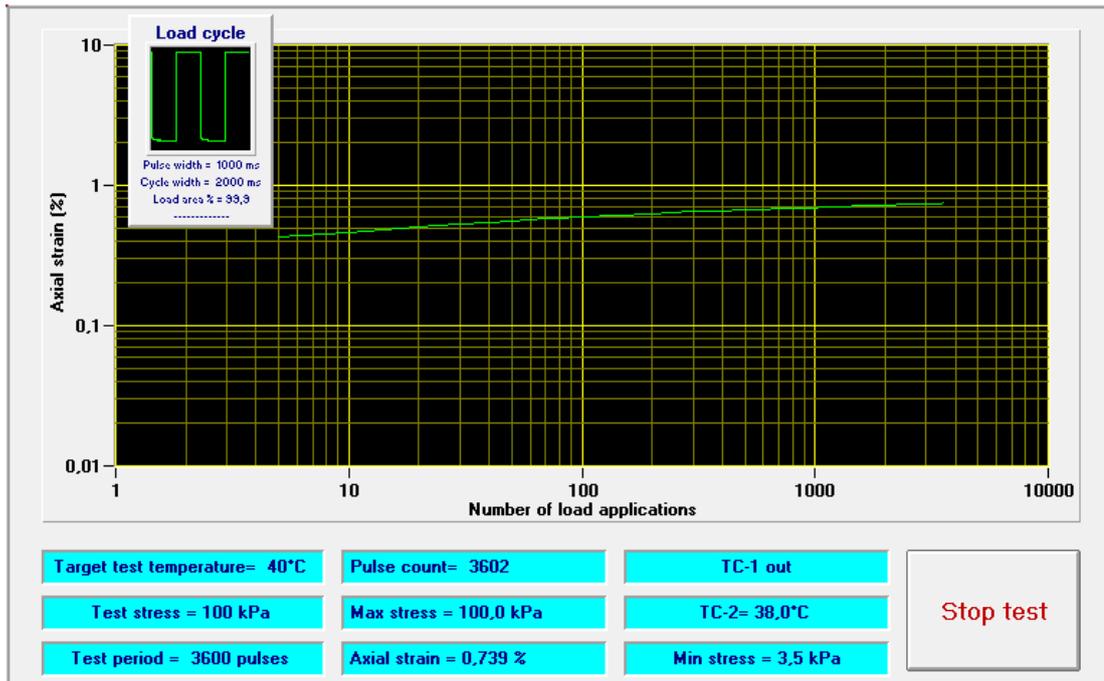
Cooper Research Technology Limited



08:15 :14:08:2018 Command  Exit Previous Continue

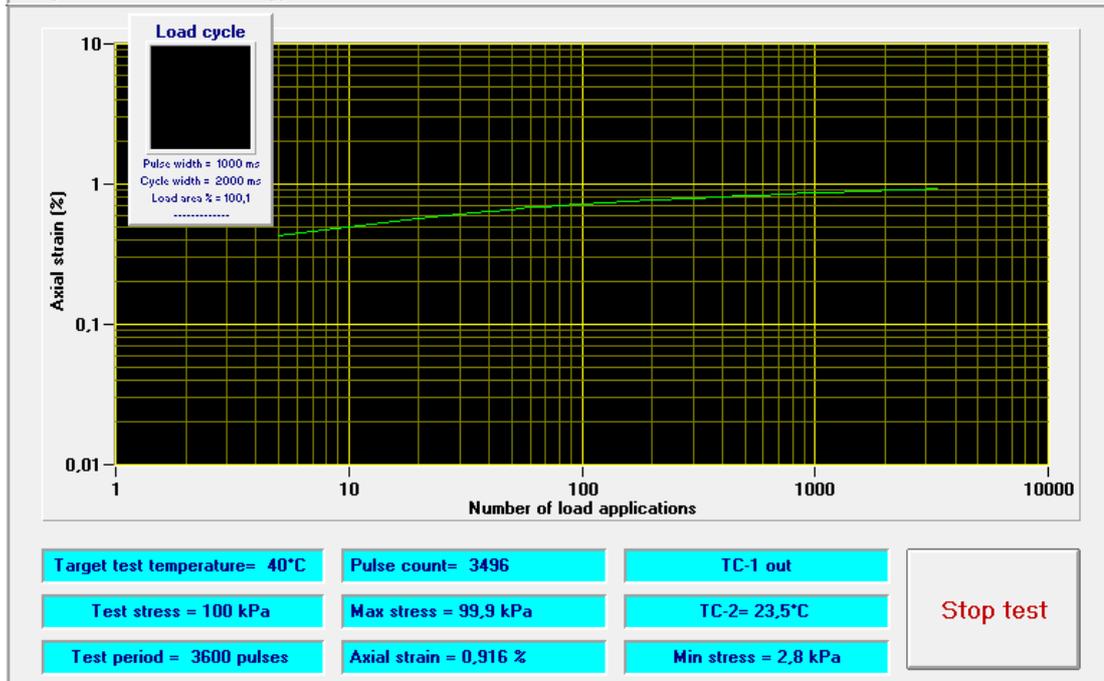
Cooper Research Technology Limited

## Anexo 8 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 1° Combinación



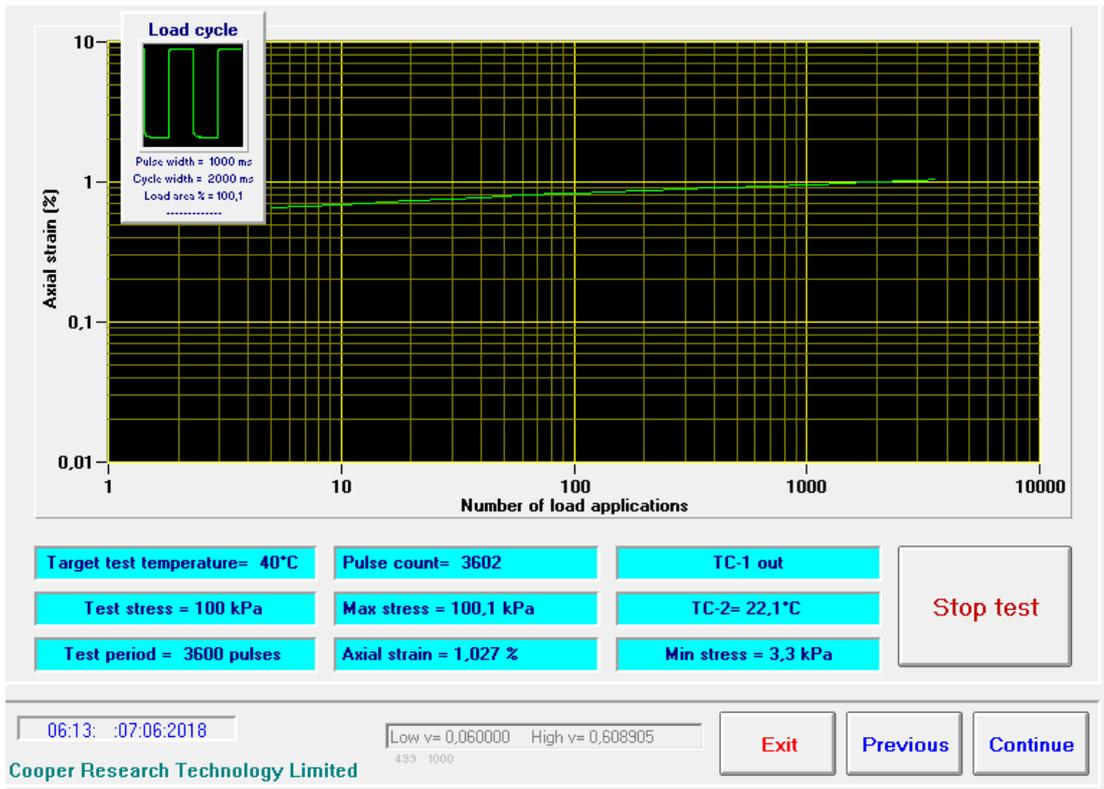
02:09 :12:02:2009      Low v= 0,038000    High v= 0,619608  
 499 1000      **Exit**    **Previous**    **Continue**

Cooper Research Technology Limited

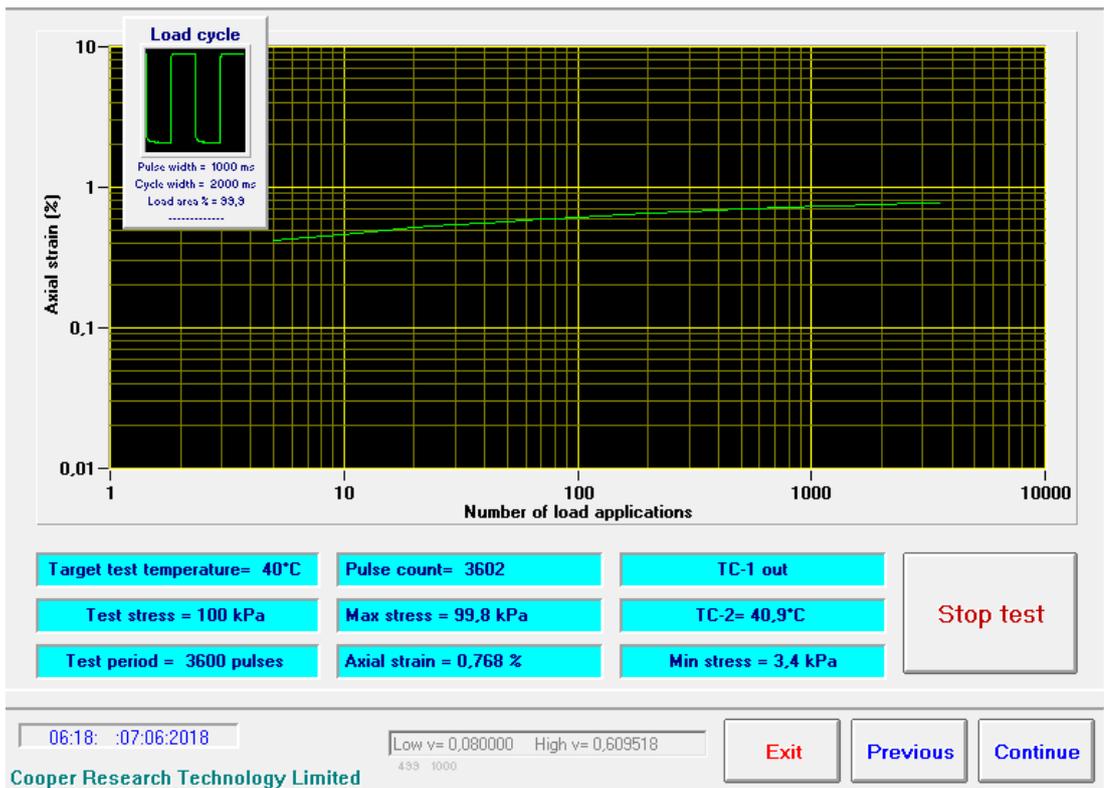


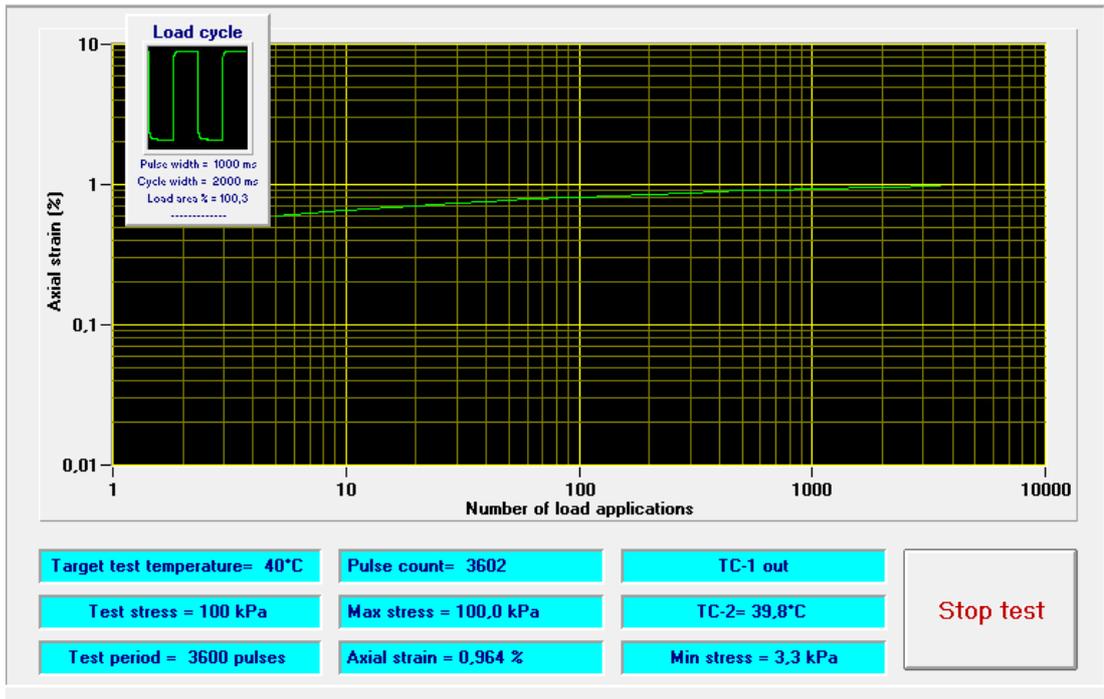
02:10 :13:02:2009      Low v= 0,036128    High v= 0,623481  
 500 1000      **Exit**    **Previous**    **Continue**

Cooper Research Technology Limited



### Anexo 9 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 2º Combinación

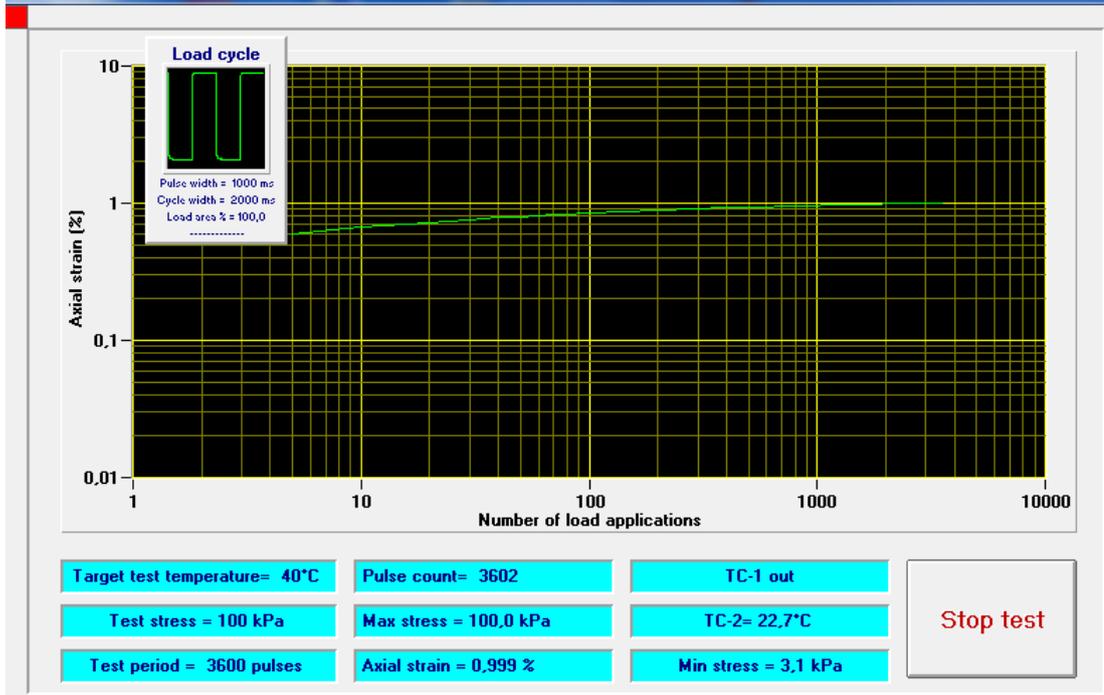




06:13: :08:06:2018    Low v= 0,032000    High v= 0,611576    **Exit**    **Previous**    **Continue**  
500 1000

Cooper Research Technology Limited

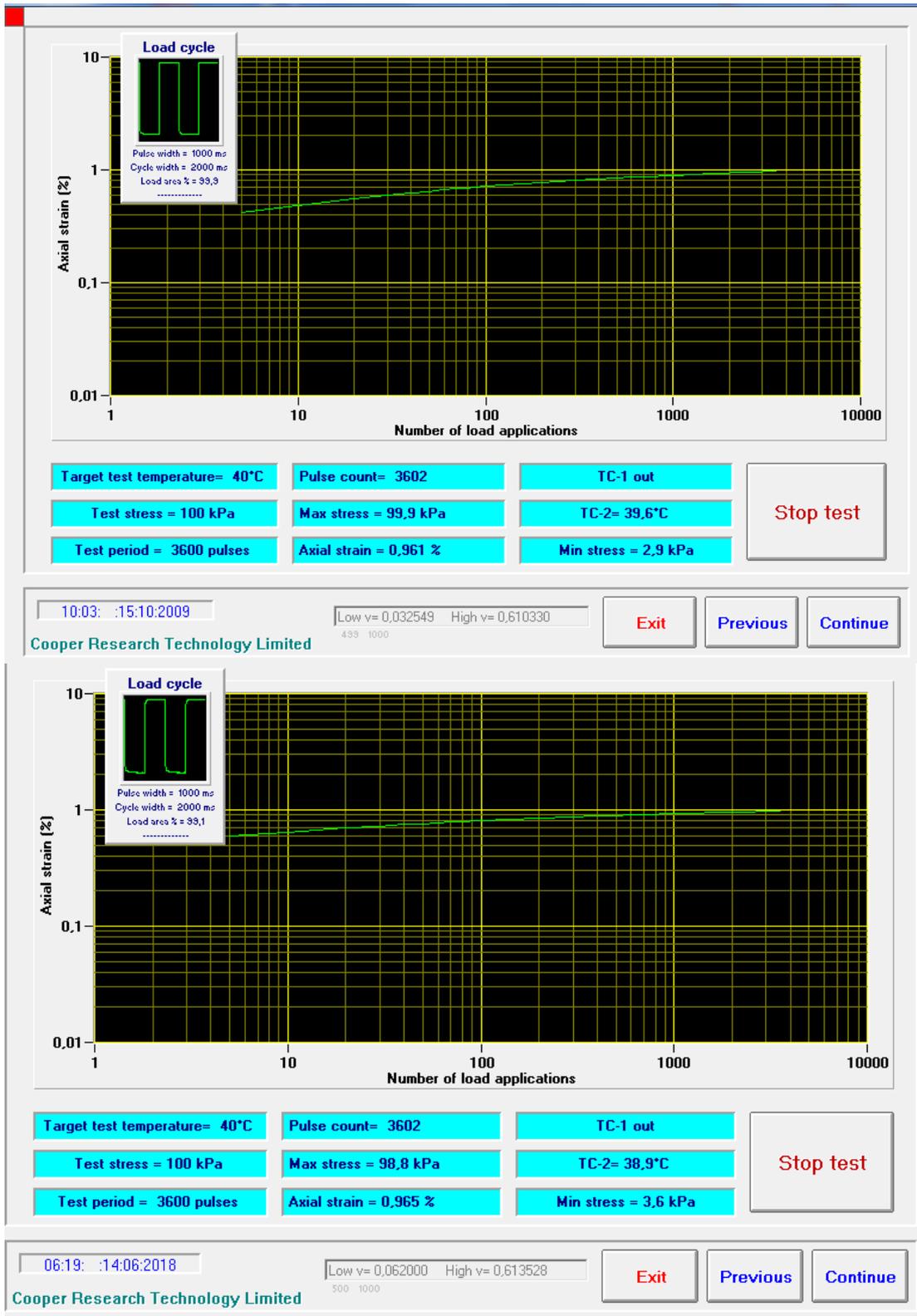
NU Dycreep-5

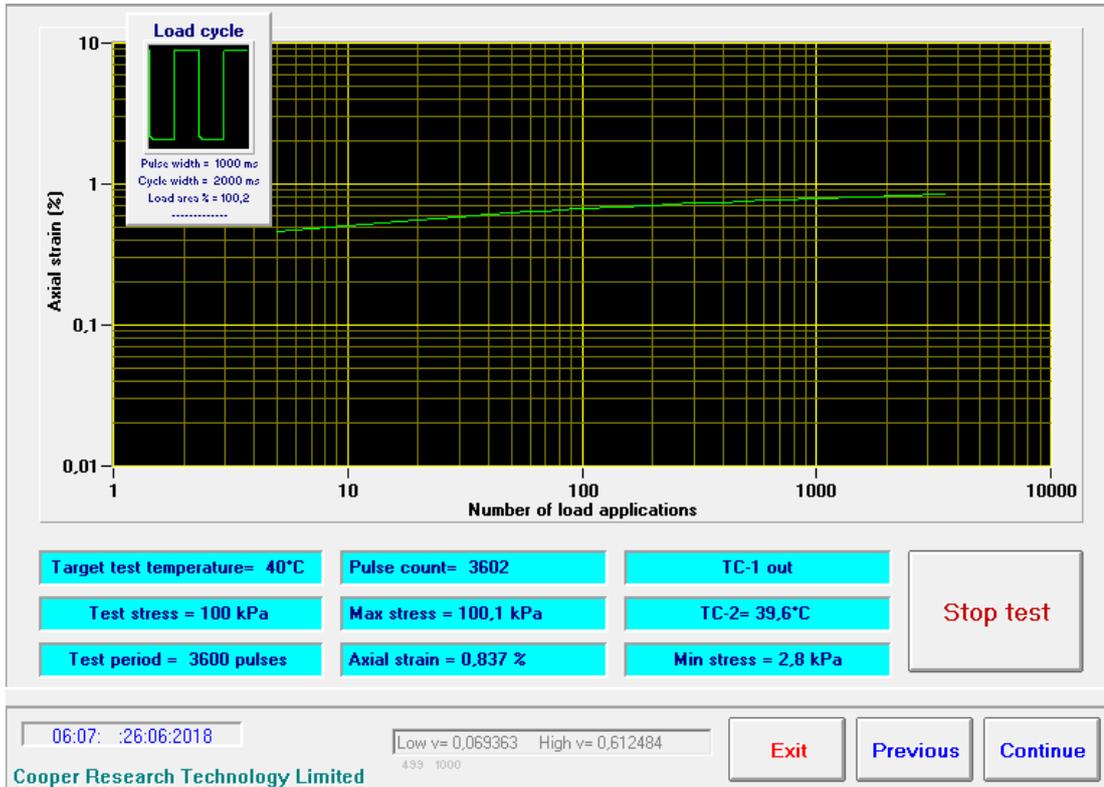


06:15: :07:06:2018    Low v= 0,114000    High v= 0,609541    **Exit**    **Previous**    **Continue**  
499 1000

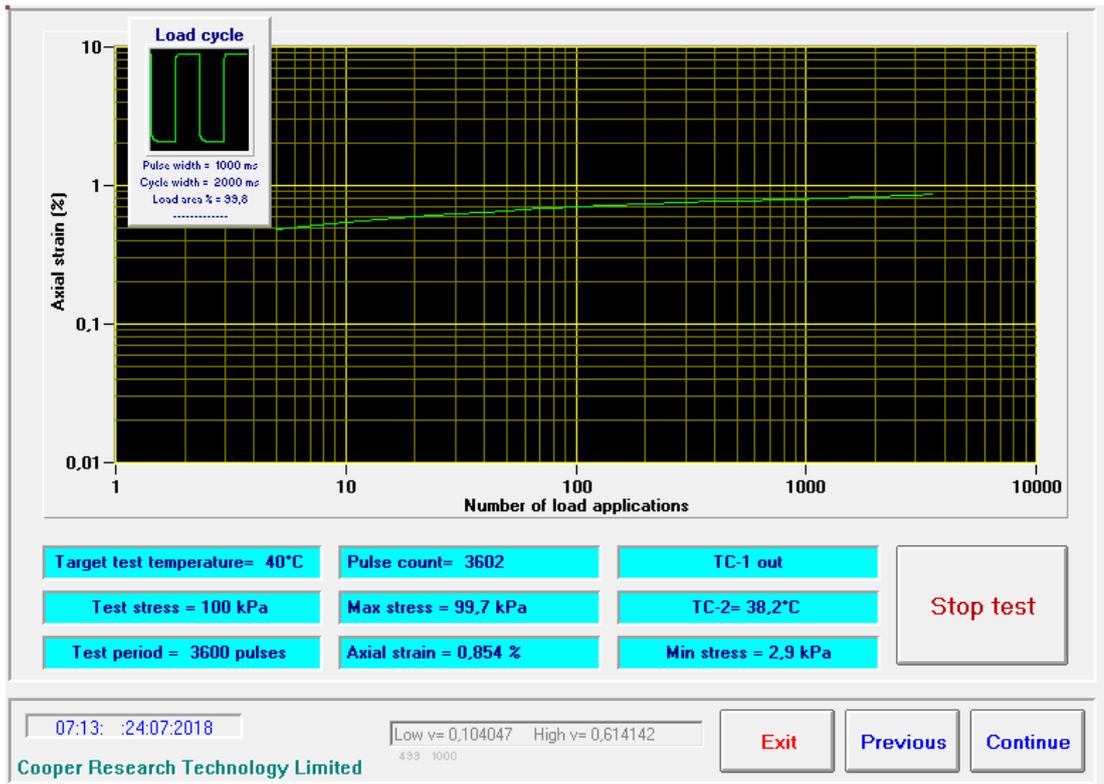
Cooper Research Technology Limited

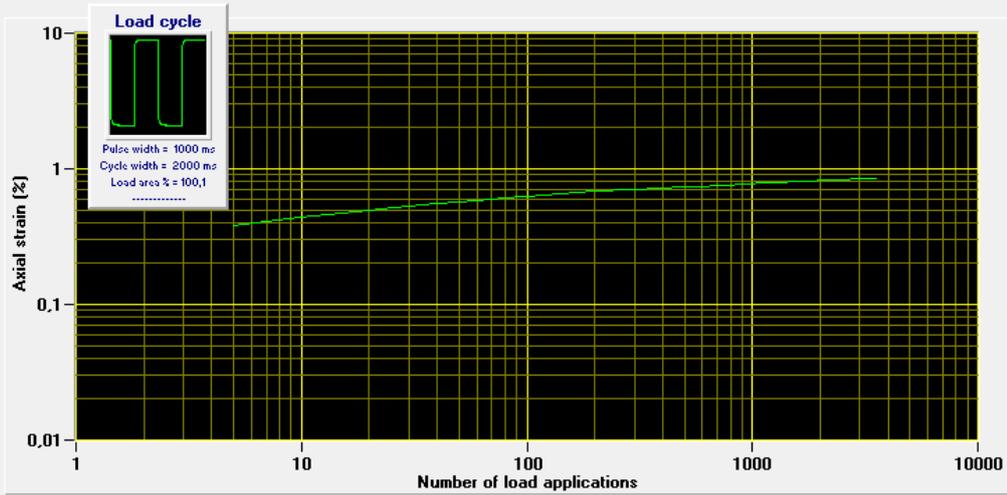
## Anexo 10 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 3° Combinación





### Anexo 11 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 4° Combinación

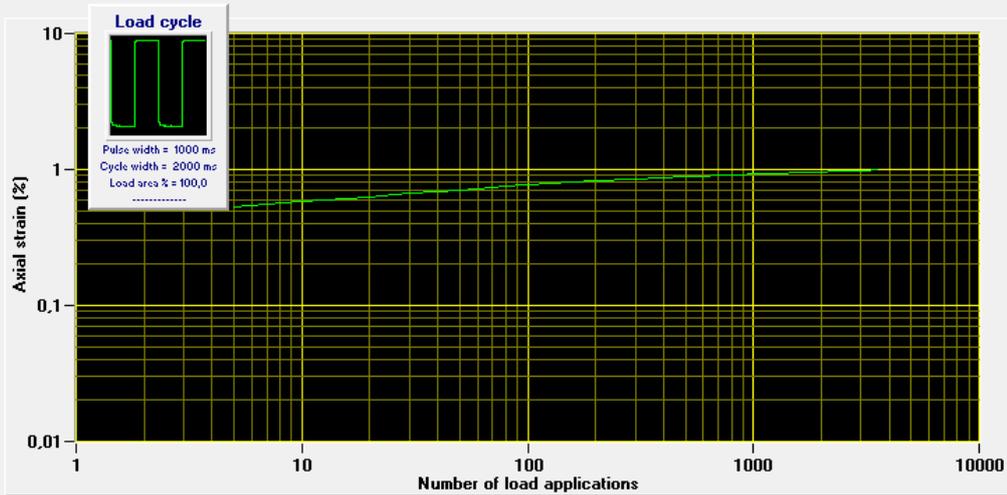




Target test temperature= 40°C	Pulse count= 3602	TC-1 out	Stop test
Test stress = 100 kPa	Max stress = 100,0 kPa	TC-2= 38,6°C	
Test period = 3600 pulses	Axial strain = 0,840 %	Min stress = 3,2 kPa	

07:08 :24:07:2018      Low v= 0,020000    High v= 0,611144  
 499 1000      Exit    Previous    Continue

Cooper Research Technology Limited

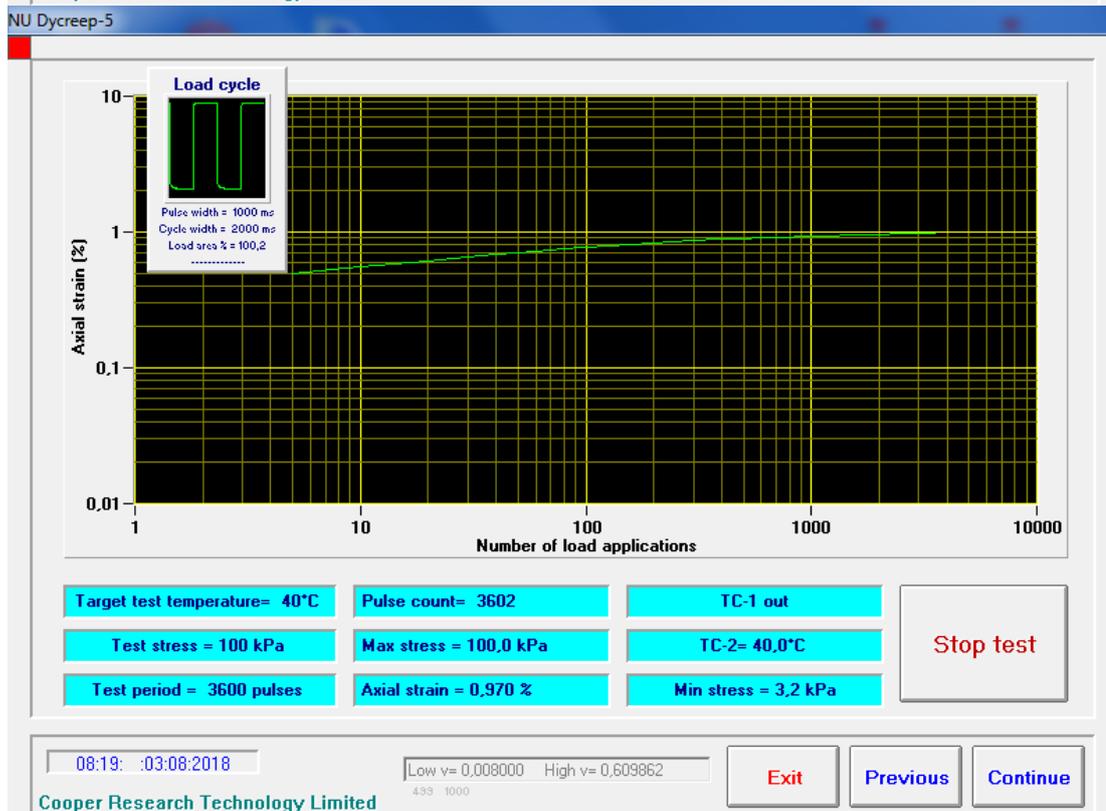
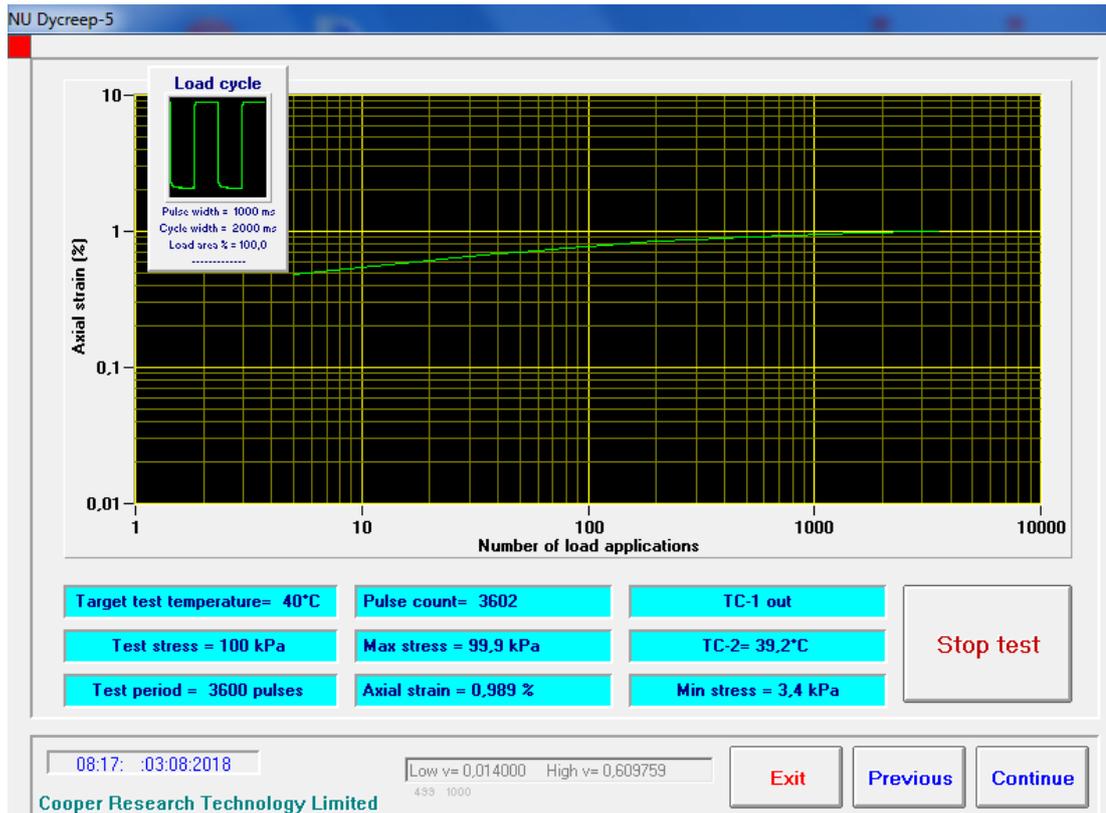


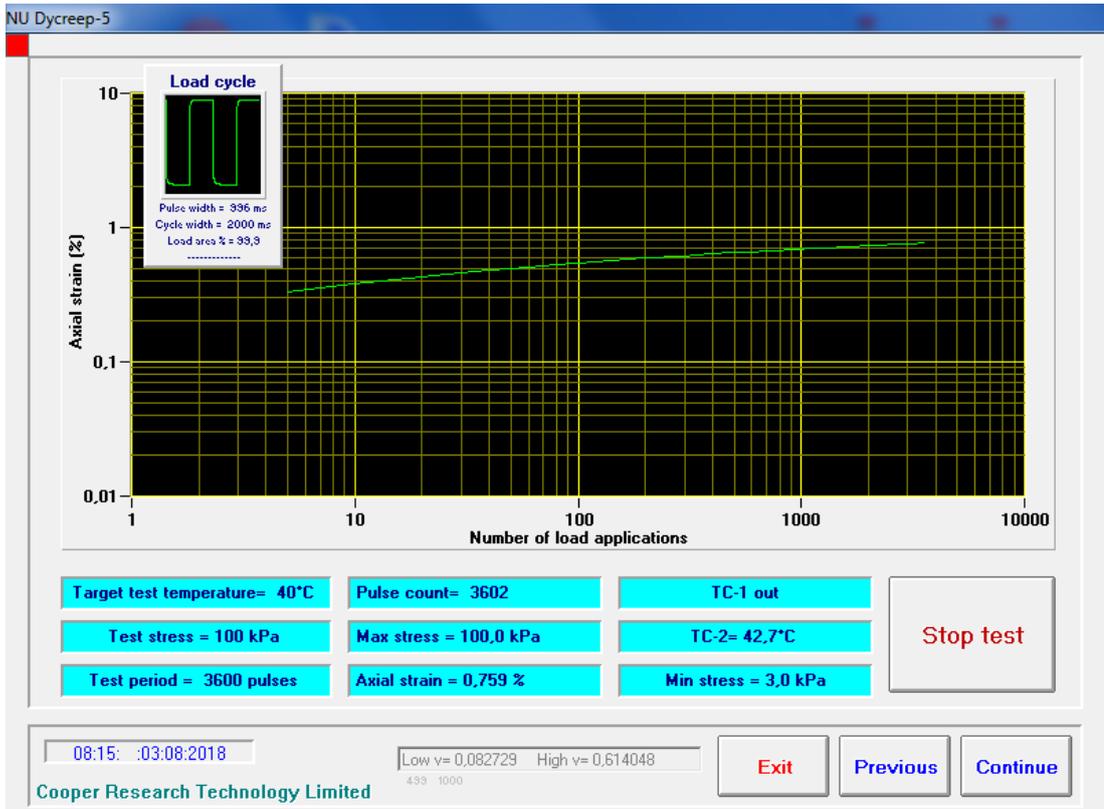
Target test temperature= 40°C	Pulse count= 3602	TC-1 out	Stop test
Test stress = 100 kPa	Max stress = 100,0 kPa	TC-2= 38,4°C	
Test period = 3600 pulses	Axial strain = 0,982 %	Min stress = 3,3 kPa	

07:15 :24:07:2018      Low v= 0,018000    High v= 0,608410  
 499 1000      Exit    Previous    Continue

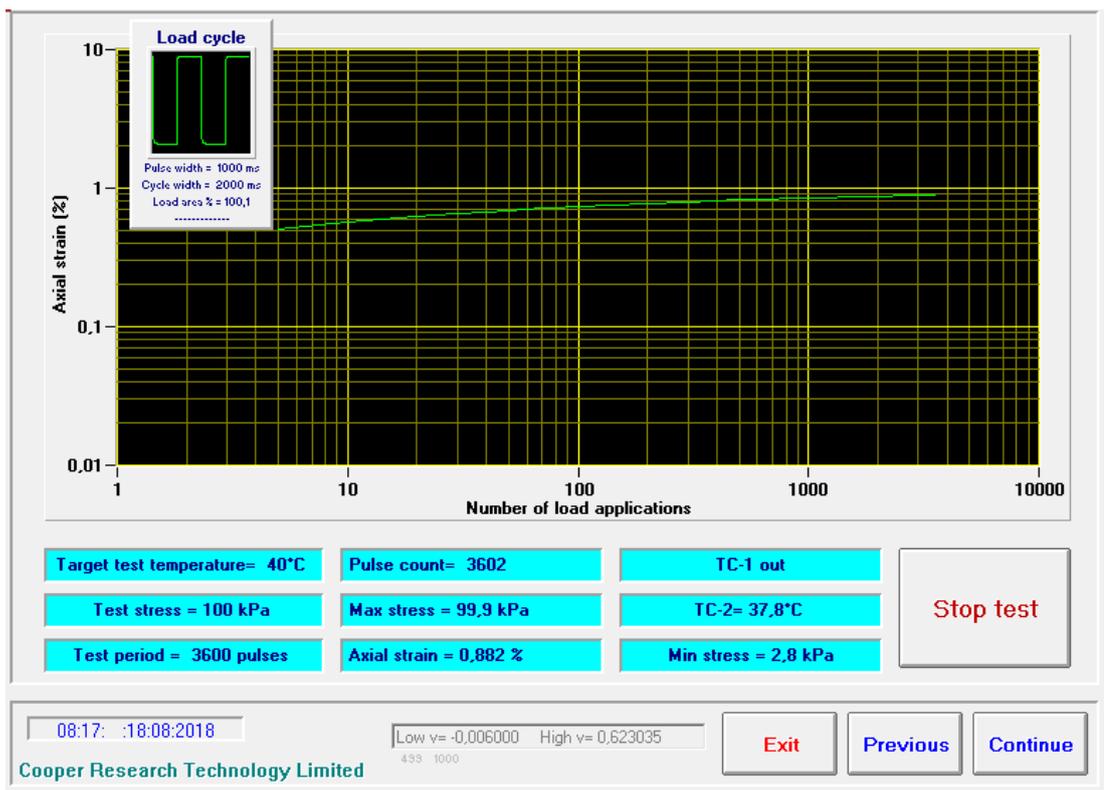
Cooper Research Technology Limited

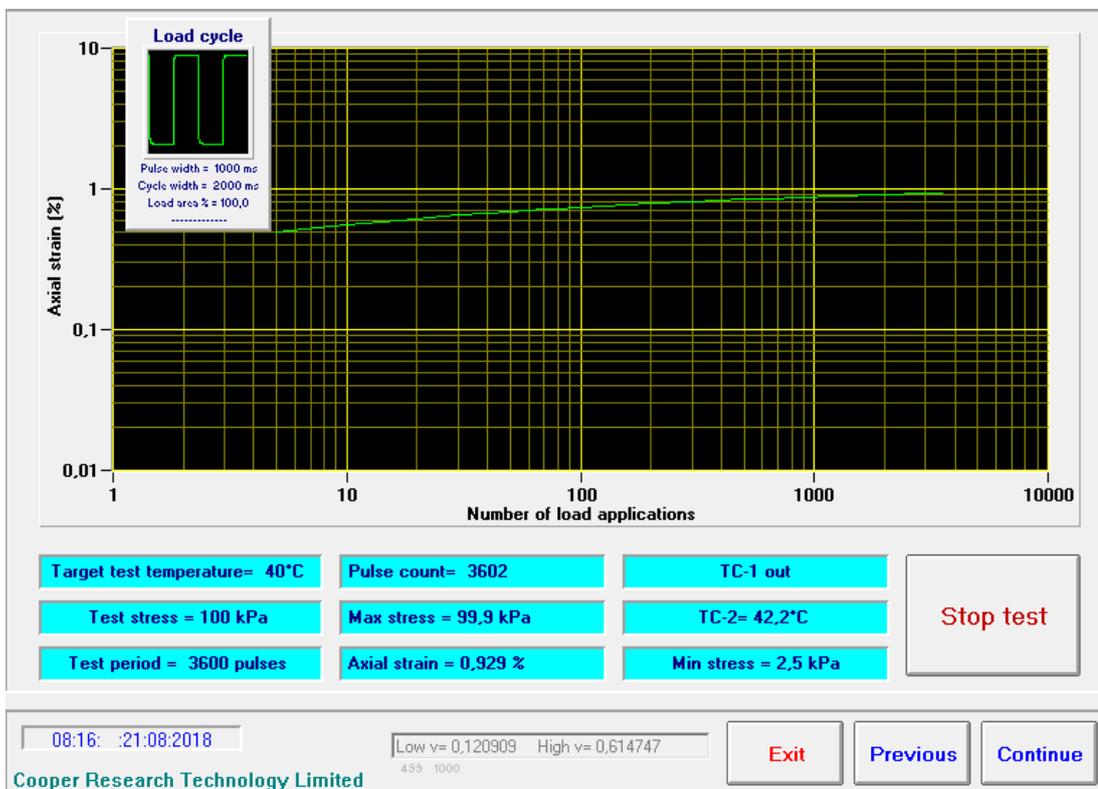
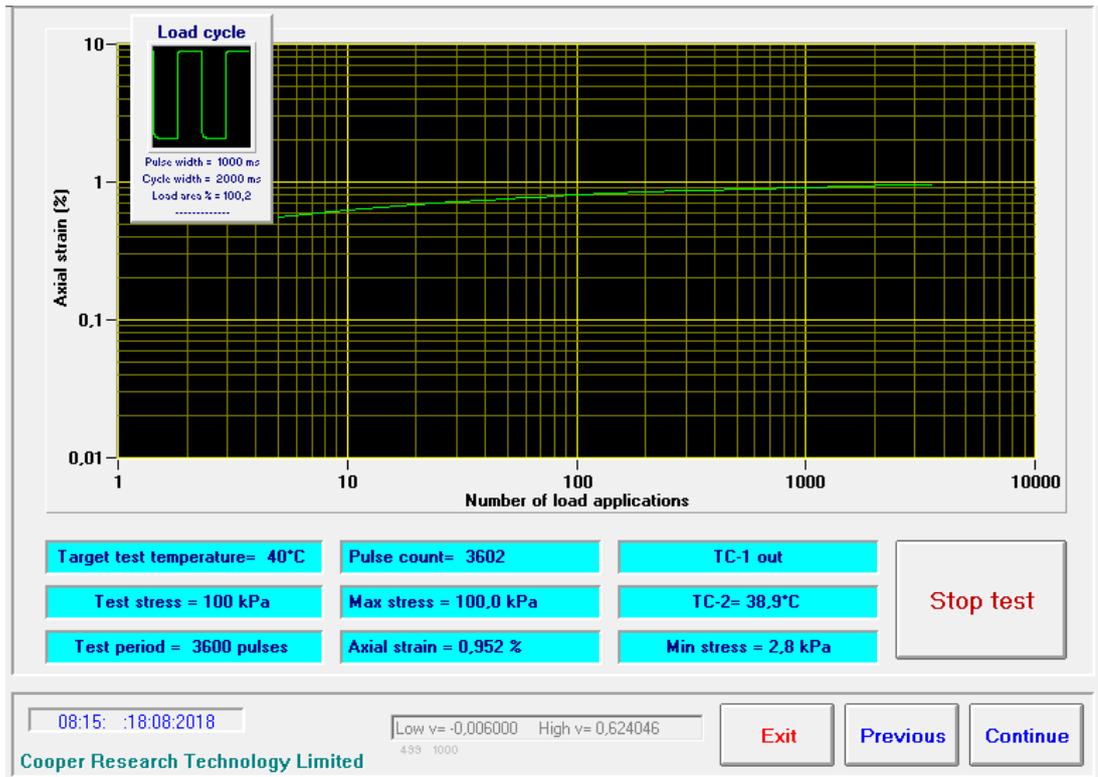
## Anexo 12 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 5° Combinación



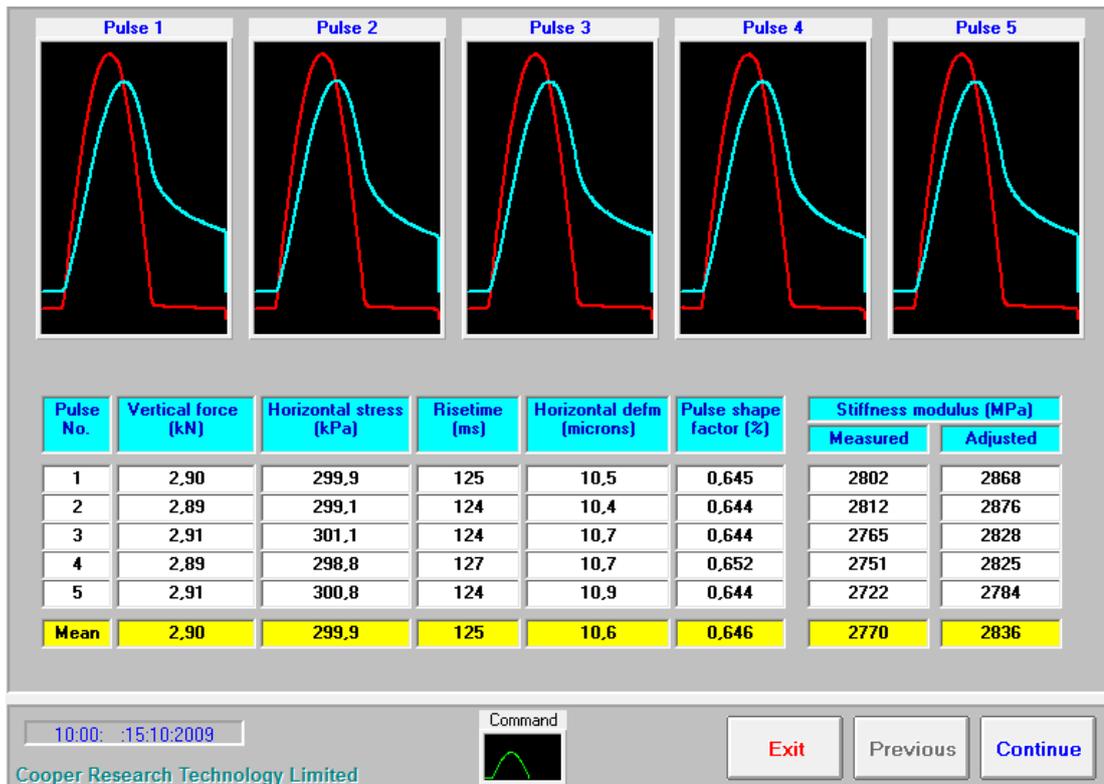
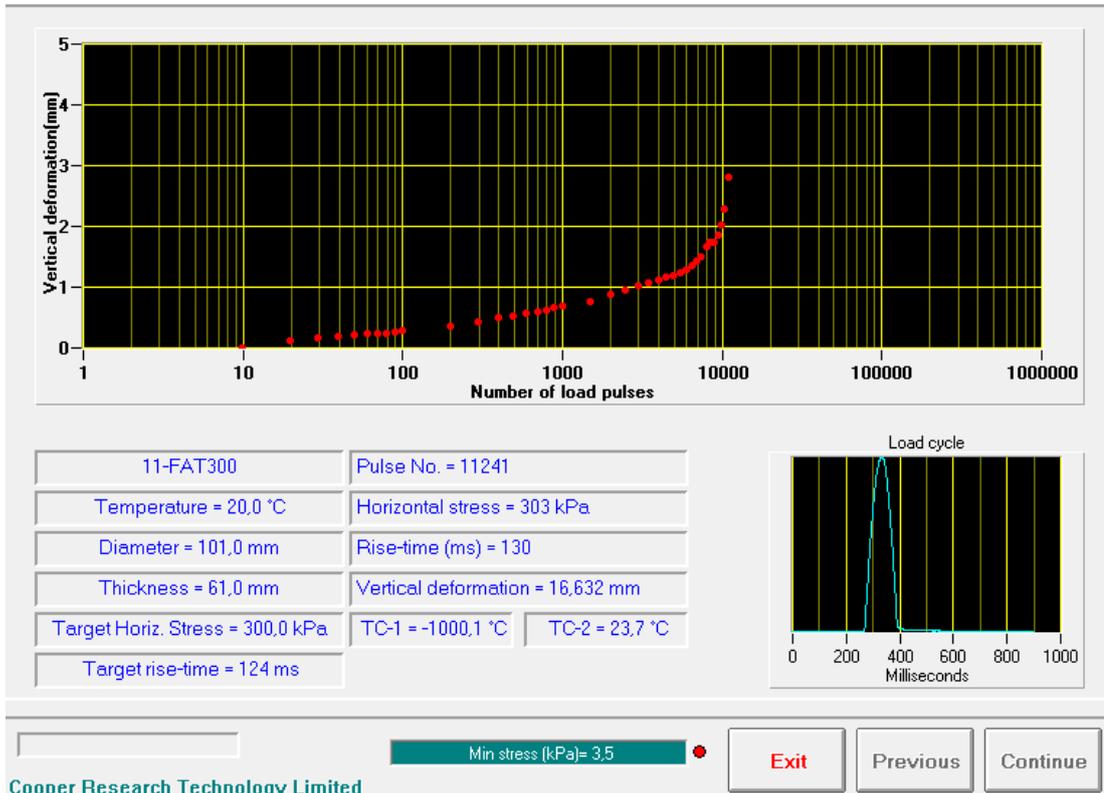


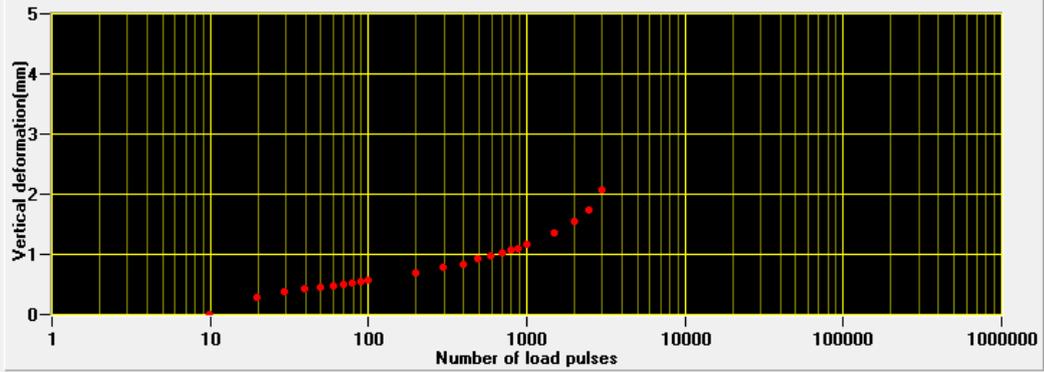
### Anexo 13 Salida de resultados del equipo NAT para deformación permanente en la 6° Combinación



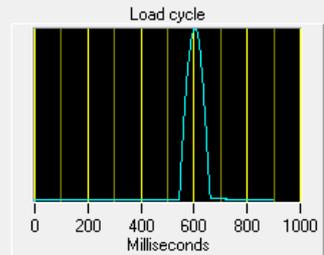


## Anexo 14 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 1° Combinación



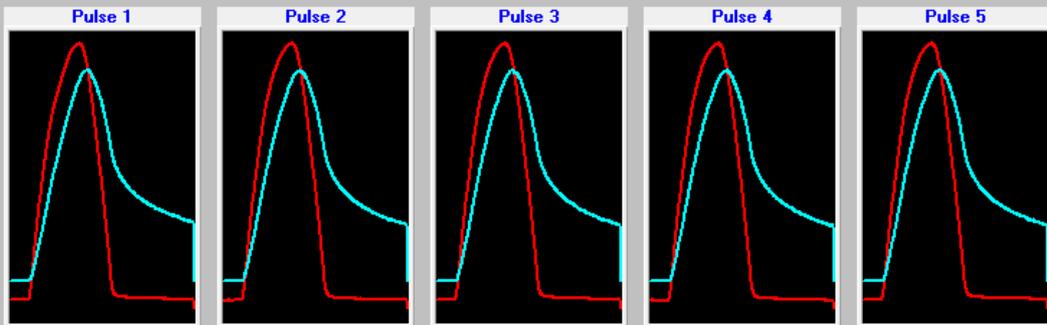


13-FAT400	Pulse No. = 3461	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 403 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 126	
Thickness = 62,0 mm	Vertical deformation = 17,371 mm	
Target Horiz. Stress = 400,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 24,9 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress [kPa]= 3.2 Exit Previous Continue

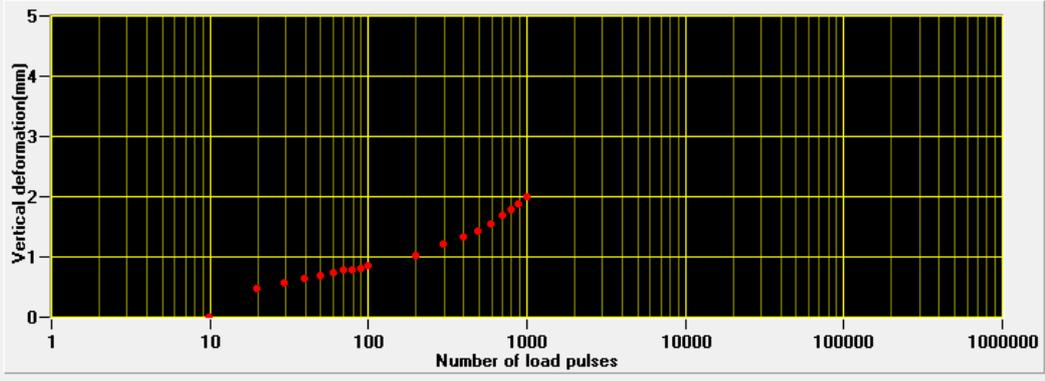
Cooper Research Technology Limited



Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,88	394,3	133	14,3	0,658	2704	2785
2	3,93	399,2	132	14,6	0,670	2676	2773
3	3,93	399,0	130	14,8	0,666	2642	2733
4	3,93	399,6	132	15,0	0,672	2620	2718
5	3,93	399,4	132	15,0	0,672	2611	2707
<b>Mean</b>	<b>3,92</b>	<b>398,3</b>	<b>132</b>	<b>14,8</b>	<b>0,668</b>	<b>2651</b>	<b>2743</b>

10:00: :15:10:2009 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

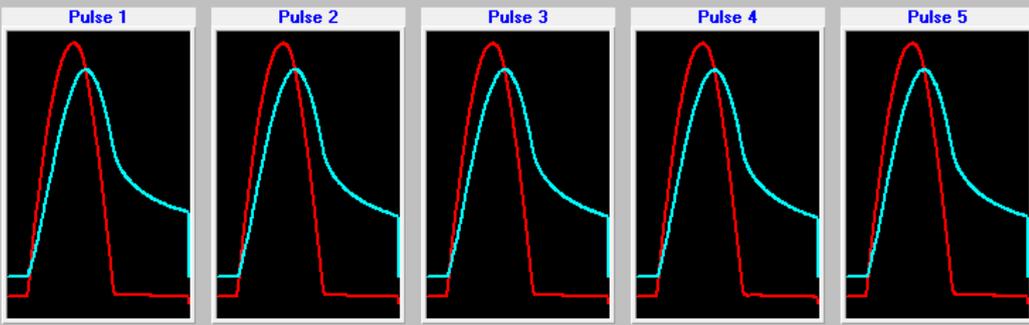


5-FAT450	Pulse No. = 1421	
Temperature = 20.0 °C	Horizontal stress = 459 kPa	
Diameter = 101.0 mm	Rise-time (ms) = 122	
Thickness = 66.0 mm	Vertical deformation = 17.461 mm	
Target Horiz. Stress = 450.0 kPa	TC-1 = -1000.1 °C	TC-2 = 24.6 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa) = 3.2 ● Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

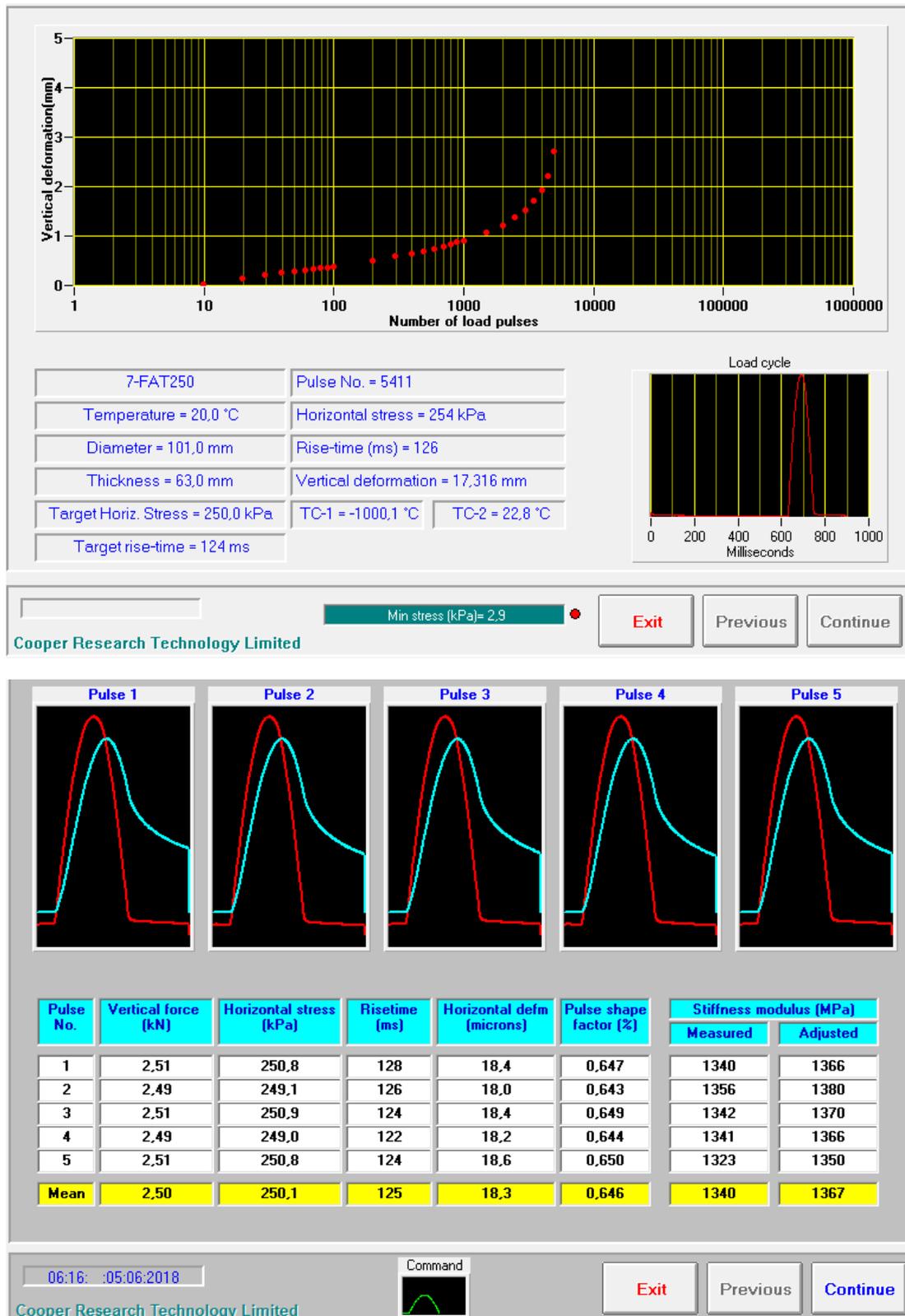


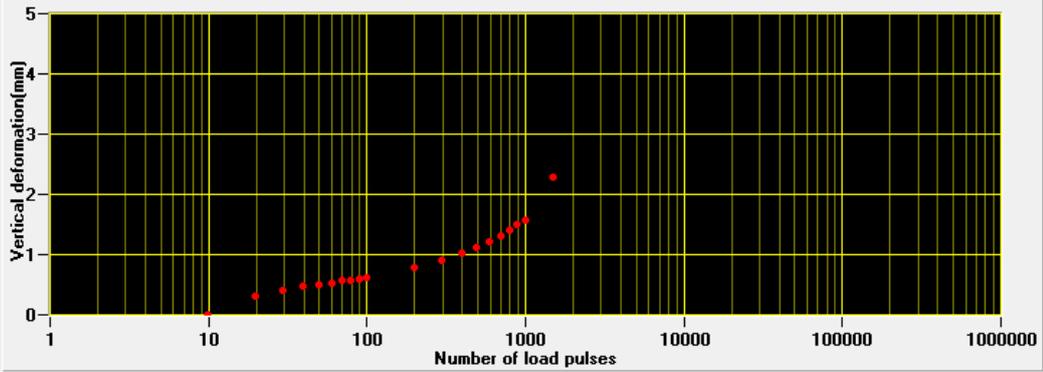
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	4.68	446.7	127	16.8	0.650	2613	2681
2	4.71	449.8	126	16.8	0.650	2624	2691
3	4.72	450.5	124	17.0	0.645	2605	2664
4	4.70	449.3	125	17.1	0.648	2578	2641
5	4.72	450.4	126	17.2	0.650	2566	2632
<b>Mean</b>	<b>4.70</b>	<b>449.3</b>	<b>126</b>	<b>17.0</b>	<b>0.648</b>	<b>2597</b>	<b>2662</b>

10:00 :15:10:2009 Command  Exit Previous Continue

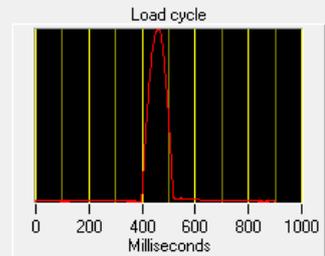
Cooper Research Technology Limited

## Anexo 15 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 2° Combinación





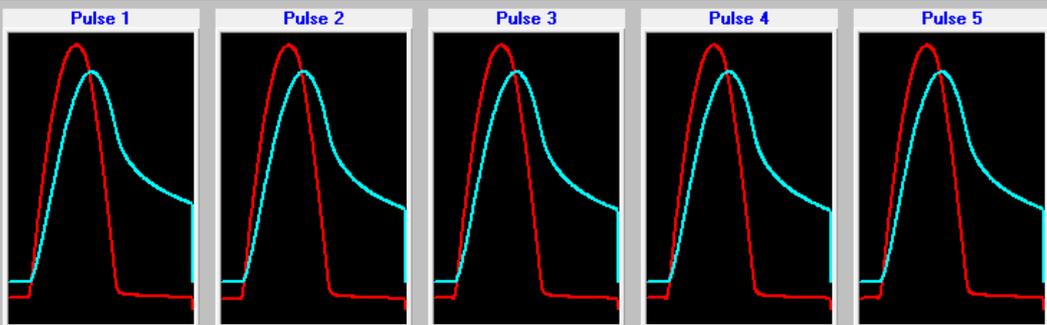
4-FAT300	Pulse No. = 1751	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 304 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 126	
Thickness = 62,0 mm	Vertical deformation = 17,476 mm	
Target Horiz. Stress = 300,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 24,2 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3,1

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



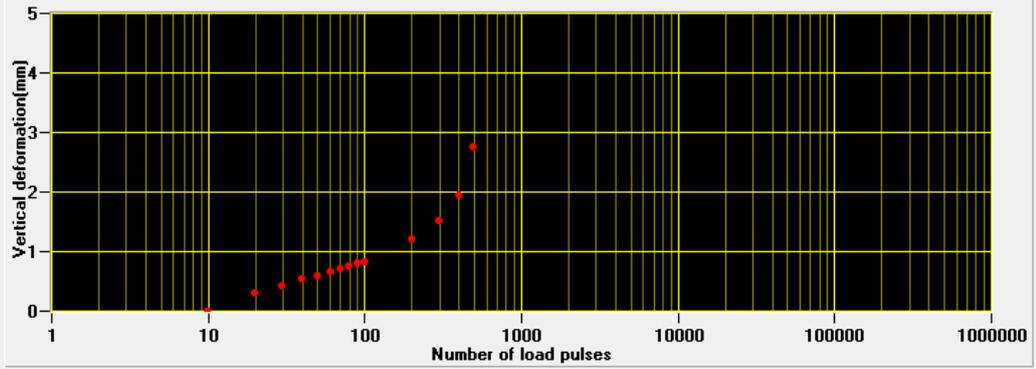
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,93	298,2	126	24,0	0,641	1220	1240
2	2,95	299,4	126	23,9	0,643	1231	1253
3	2,94	298,8	125	24,1	0,640	1219	1239
4	2,94	299,1	128	24,2	0,648	1212	1236
5	2,96	300,9	126	24,6	0,643	1203	1224
<b>Mean</b>	<b>2,94</b>	<b>299,3</b>	<b>126</b>	<b>24,2</b>	<b>0,643</b>	<b>1217</b>	<b>1238</b>

06:13 :06:06:2018

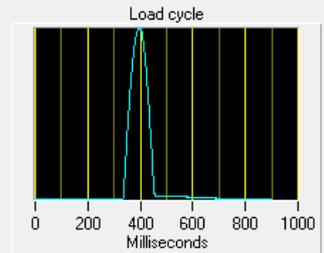
Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



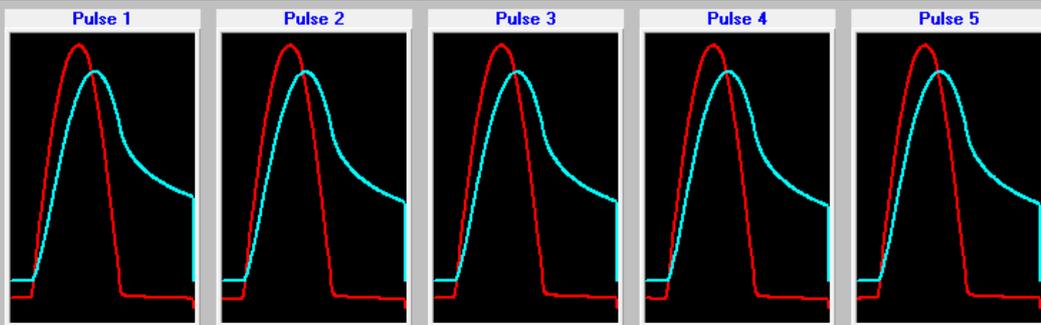
10-FAT350	Pulse No. = 541	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 353 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 126	
Thickness = 63,0 mm	Vertical deformation = 17,046 mm	
Target Horiz. Stress = 350,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 25,7 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3,8

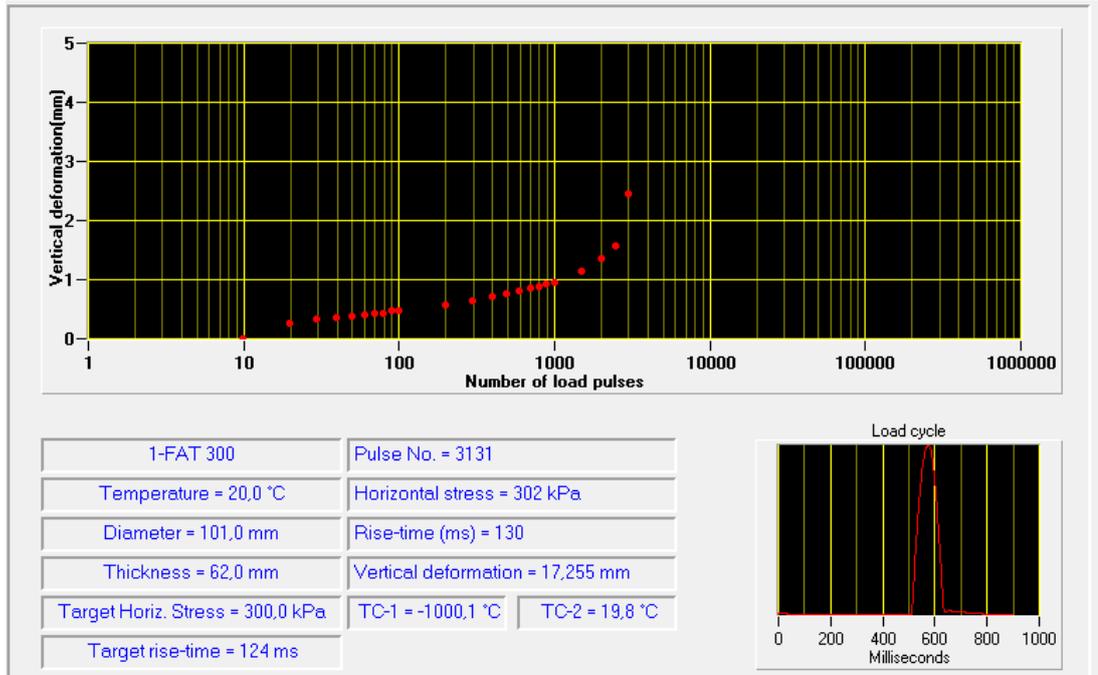
Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,48	348,5	125	30,4	0,642	1127	1146
2	3,50	349,7	126	30,1	0,647	1141	1162
3	3,51	351,2	126	30,5	0,647	1132	1153
4	3,49	348,8	125	30,2	0,644	1134	1154
5	3,51	351,4	126	30,7	0,647	1126	1147
<b>Mean</b>	<b>3,50</b>	<b>349,9</b>	<b>126</b>	<b>30,4</b>	<b>0,645</b>	<b>1132</b>	<b>1152</b>

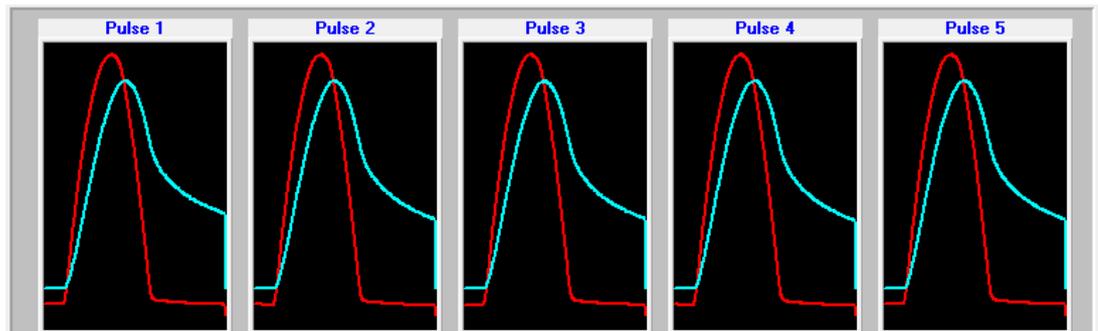
## Anexo 16 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 3° Combinación



Min stress (kPa)= 3,6

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



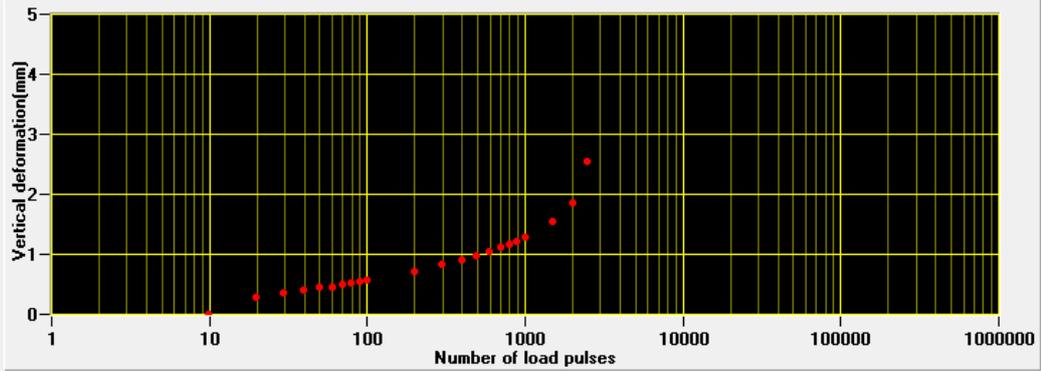
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,92	297,3	128	15,3	0,650	1905	1950
2	2,93	298,3	126	15,2	0,646	1928	1970
3	2,95	300,3	126	15,4	0,647	1919	1961
4	2,95	299,6	126	15,3	0,647	1923	1966
5	2,96	300,8	126	15,4	0,647	1915	1957
<b>Mean</b>	<b>2,94</b>	<b>299,3</b>	<b>126</b>	<b>15,3</b>	<b>0,647</b>	<b>1918</b>	<b>1961</b>

06:11: :19:06:2018

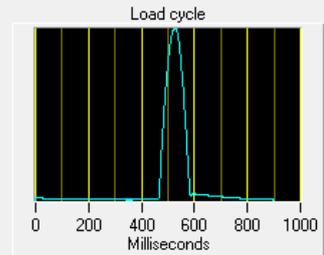
Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

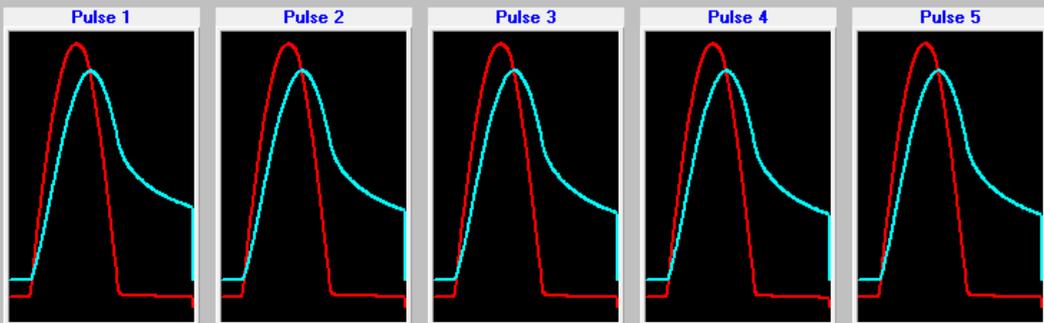


2-FAT350	Pulse No. = 2641	
Temperature = 20.0 °C	Horizontal stress = 353 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 122	
Thickness = 62,0 mm	Vertical deformation = 17,407 mm	
Target Horiz. Stress = 350,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 22,6 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3.0 ● Exit Previous Continue

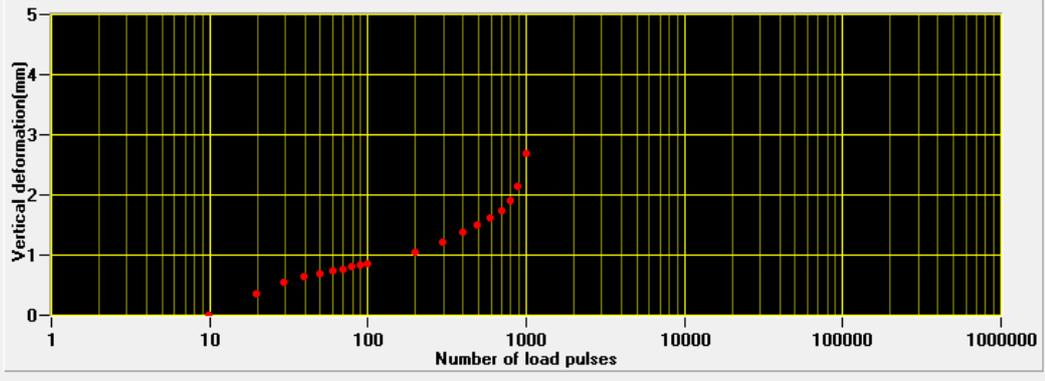
Cooper Research Technology Limited



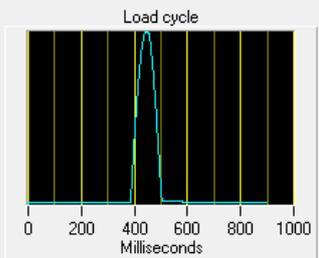
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,45	350,3	125	17,9	0,644	1923	1963
2	3,45	350,8	125	17,8	0,647	1938	1981
3	3,45	350,5	124	17,8	0,644	1936	1977
4	3,43	348,8	125	17,8	0,647	1925	1968
5	3,43	349,0	124	17,9	0,644	1918	1958
<b>Mean</b>	<b>3,44</b>	<b>349,9</b>	<b>125</b>	<b>17,8</b>	<b>0,645</b>	<b>1928</b>	<b>1969</b>

10:02: :15:10:2009 Command Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

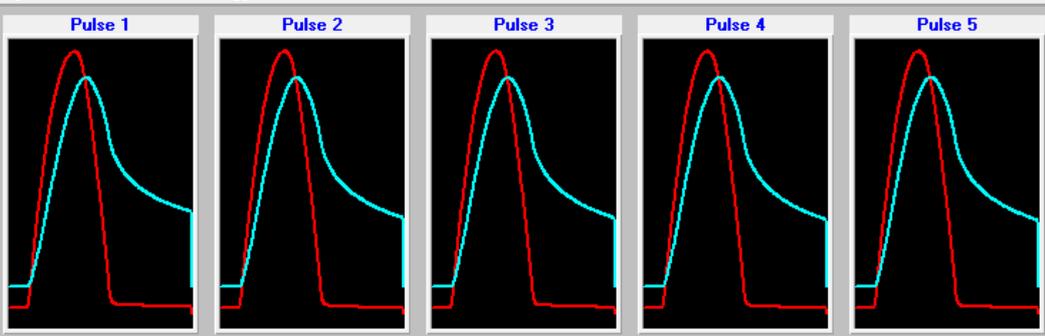


4-FAT	Pulse No. = 1061	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 402 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 122	
Thickness = 60,0 mm	Vertical deformation = 17,682 mm	
Target Horiz. Stress = 400,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 19,4 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 2,7 Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

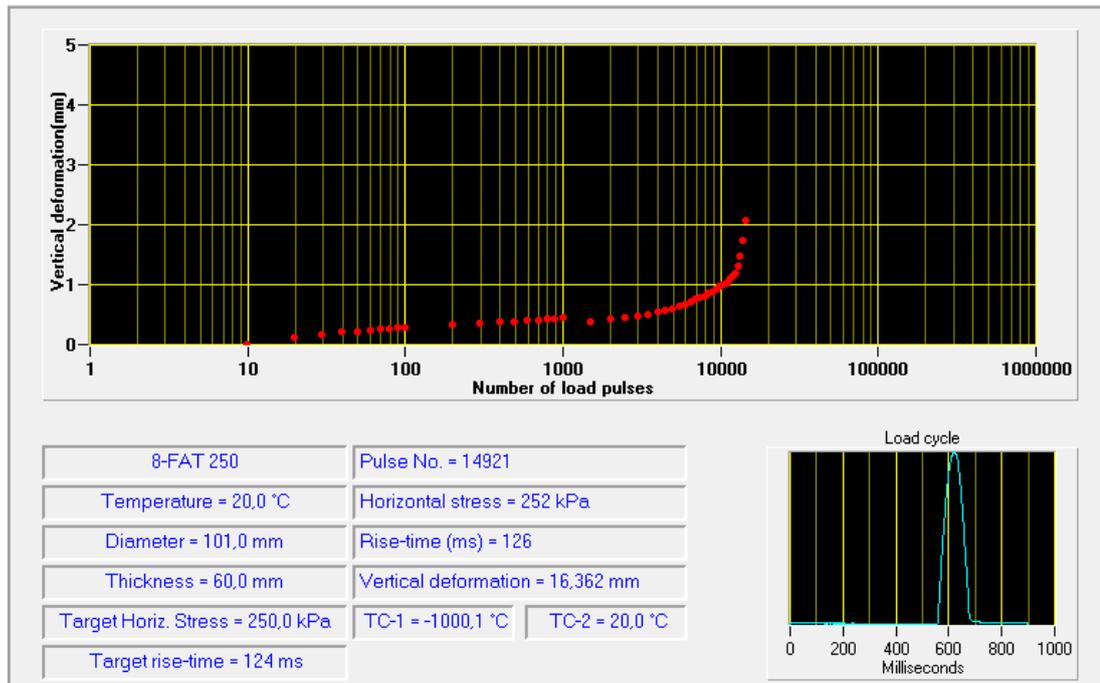


Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,89	409,2	126	21,6	0,658	1861	1912
2	3,93	412,5	121	21,7	0,649	1866	1909
3	3,95	415,3	121	22,1	0,651	1850	1893
4	3,96	416,3	119	22,2	0,646	1841	1881
5	3,97	416,7	119	22,4	0,646	1830	1870
<b>Mean</b>	<b>3,94</b>	<b>414,0</b>	<b>121</b>	<b>22,0</b>	<b>0,650</b>	<b>1850</b>	<b>1893</b>

06:06: :18:06:2018 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

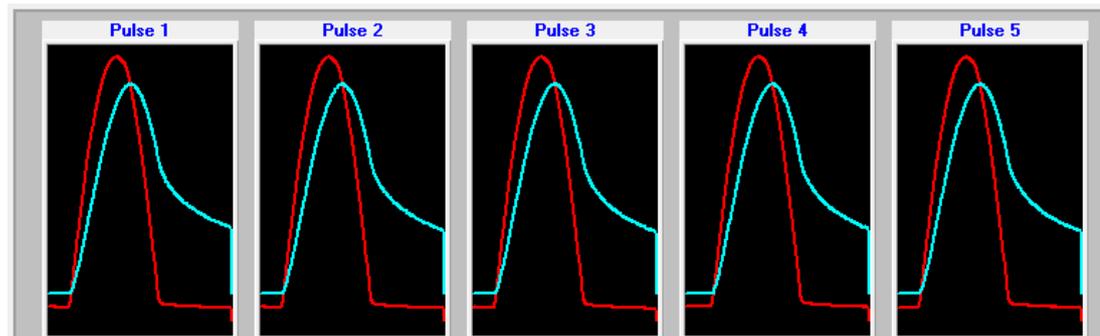
## Anexo 17 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 4° Combinación



Min stress (kPa)= 2,9

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



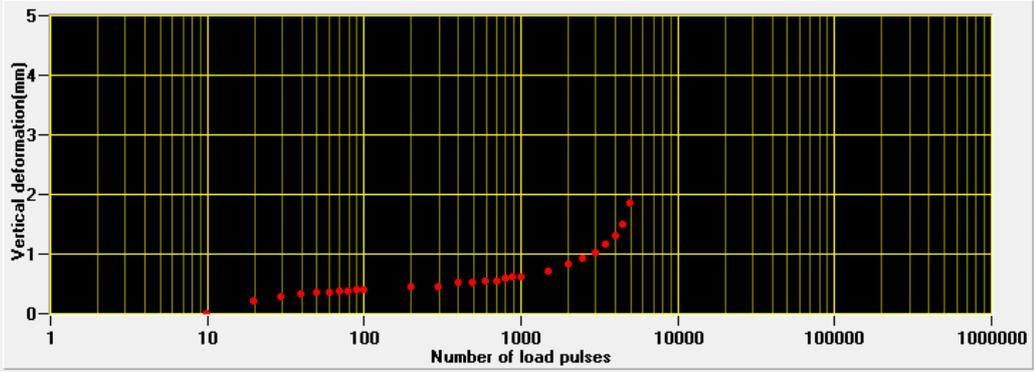
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,37	249,3	124	11,2	0,641	2185	2229
2	2,37	249,4	125	11,3	0,640	2173	2216
3	2,37	249,1	125	11,3	0,641	2162	2205
4	2,38	250,0	125	11,4	0,642	2150	2193
5	2,39	250,8	126	11,5	0,643	2145	2190
<b>Mean</b>	<b>2,38</b>	<b>249,7</b>	<b>125</b>	<b>11,3</b>	<b>0,641</b>	<b>2163</b>	<b>2207</b>

10:00 :15:10:2009

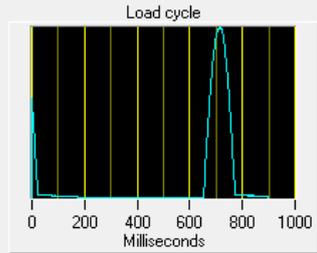
Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

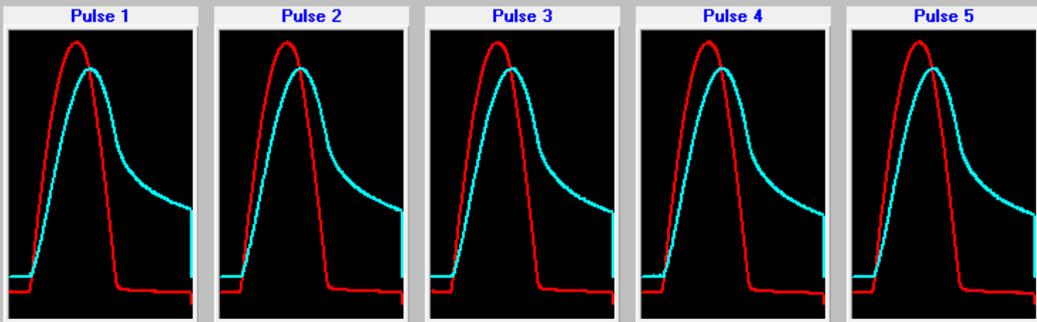


9-FAT 300	Pulse No. = 5401	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 303 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 126	
Thickness = 61,0 mm	Vertical deformation = 16,429 mm	
Target Horiz. Stress = 300,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 19,0 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3.6 Exit Previous Continue

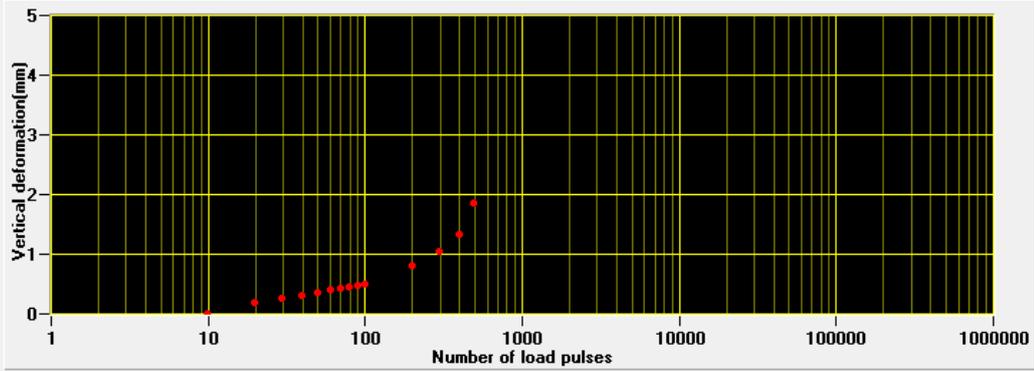
Cooper Research Technology Limited



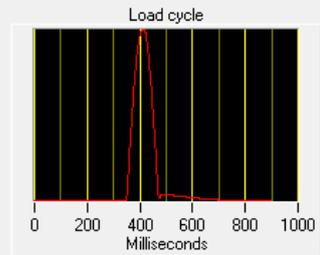
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,88	297,6	125	14,0	0,642	2089	2131
2	2,91	300,4	125	14,1	0,644	2085	2129
3	2,89	299,1	125	14,2	0,644	2063	2107
4	2,89	298,9	125	14,2	0,645	2072	2116
5	2,89	298,2	125	14,4	0,644	2041	2084
<b>Mean</b>	<b>2,89</b>	<b>298,8</b>	<b>125</b>	<b>14,2</b>	<b>0,644</b>	<b>2070</b>	<b>2114</b>

07:08 :11:07:2018 Command  Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

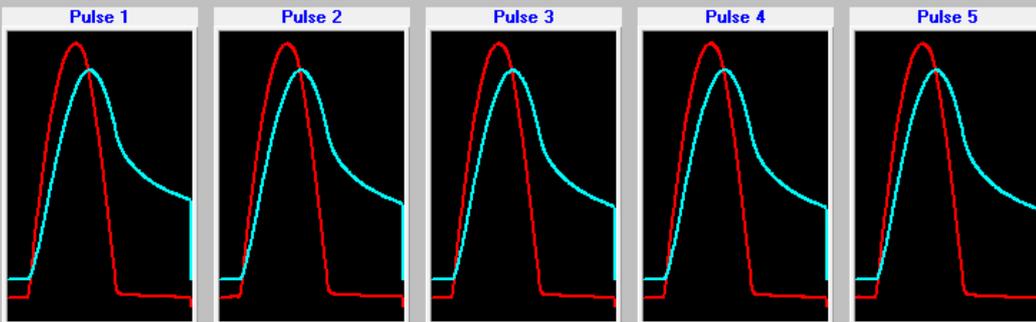


10-FAT 400	Pulse No. = 551	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 409 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 128	
Thickness = 59,5 mm	Vertical deformation = 16,634 mm	
Target Horiz. Stress = 400,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 26,5 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 4,4 Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited

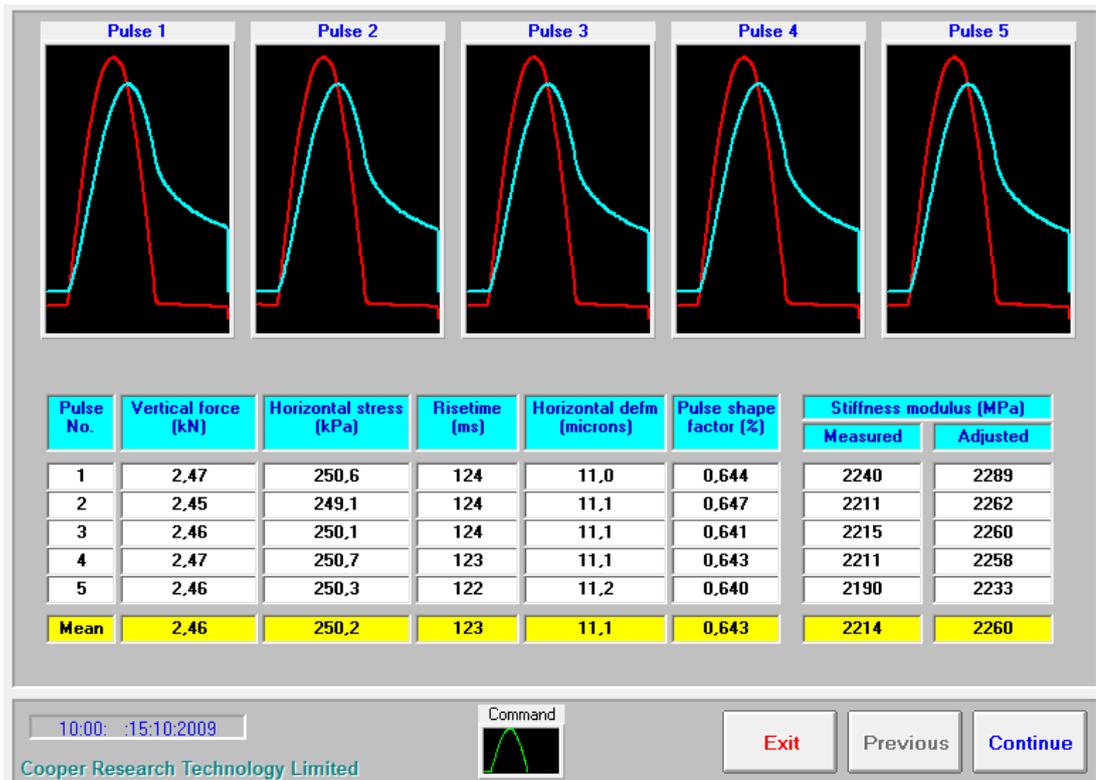
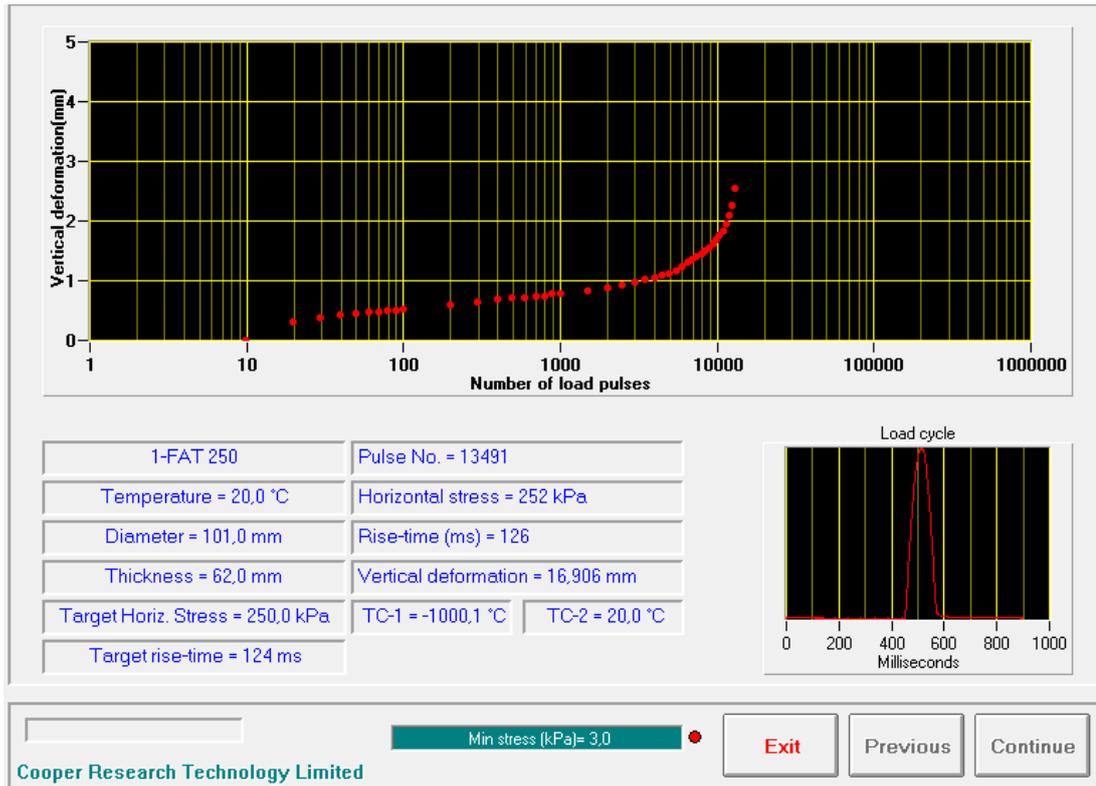


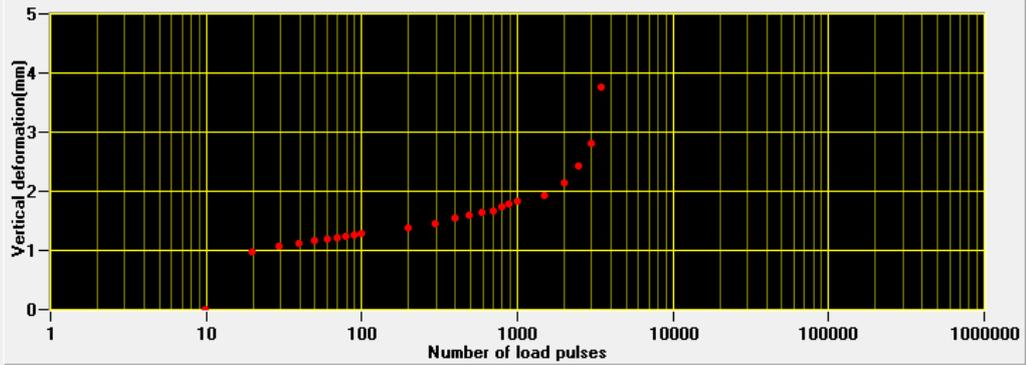
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,73	398,4	127	23,9	0,649	1635	1671
2	3,75	400,5	127	23,8	0,650	1651	1688
3	3,75	400,5	125	23,8	0,645	1650	1684
4	3,75	400,4	127	24,0	0,651	1640	1677
5	3,74	399,5	127	24,1	0,650	1627	1664
<b>Mean</b>	<b>3,74</b>	<b>399,9</b>	<b>127</b>	<b>23,9</b>	<b>0,649</b>	<b>1641</b>	<b>1677</b>

07:09: :10:07:2018 Command  Exit Previous Continue

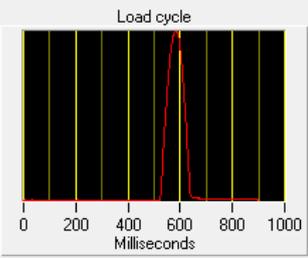
Cooper Research Technology Limited

## Anexo 18 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 5° Combinación





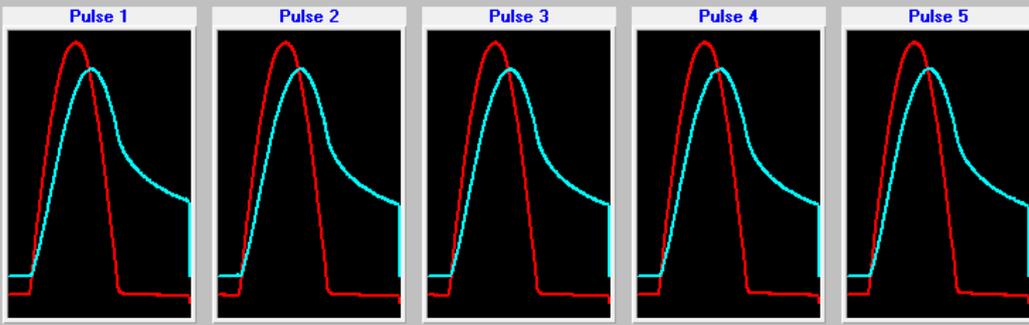
2-FAT 300	Pulse No. = 3591	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 302 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 122	
Thickness = 63,0 mm	Vertical deformation = 17,320 mm	
Target Horiz. Stress = 300,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 19,9 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3.5

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



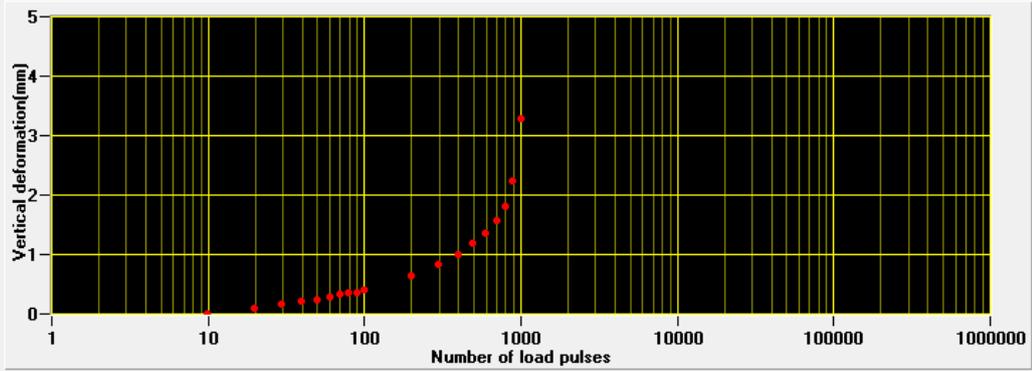
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,98	298,6	124	15,5	0,649	1889	1932
2	2,99	299,2	126	15,5	0,650	1901	1946
3	2,99	299,2	125	15,6	0,647	1887	1929
4	3,00	300,4	124	15,8	0,651	1873	1917
5	2,99	298,7	125	15,7	0,647	1863	1904
<b>Mean</b>	<b>2,99</b>	<b>299,2</b>	<b>125</b>	<b>15,6</b>	<b>0,649</b>	<b>1883</b>	<b>1926</b>

10:00: :15:10:2009

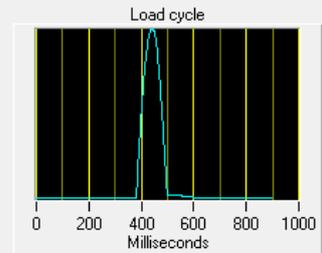
Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



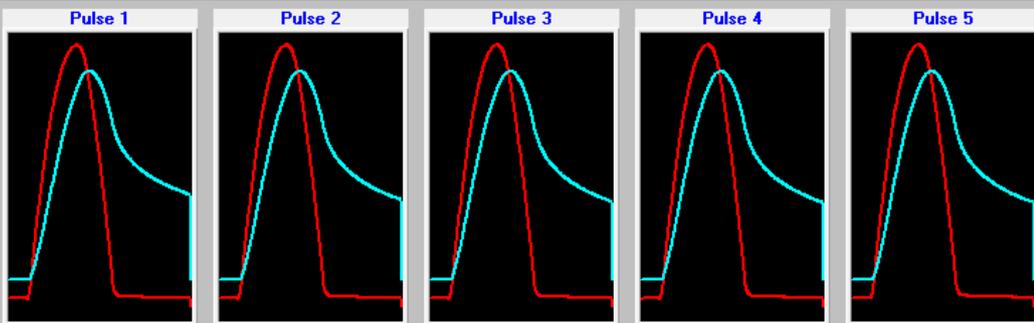
6-FAT 400	Pulse No. = 1041	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 402 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 126	
Thickness = 63,0 mm	Vertical deformation = 16,472 mm	
Target Horiz. Stress = 400,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 21,8 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3,3

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,95	395,1	131	26,4	0,658	1471	1508
2	3,98	398,1	126	26,1	0,651	1496	1530
3	3,98	398,6	126	26,2	0,651	1493	1527
4	3,99	399,7	126	26,4	0,651	1489	1522
5	3,99	399,6	126	26,5	0,651	1480	1513
<b>Mean</b>	<b>3,98</b>	<b>398,2</b>	<b>127</b>	<b>26,3</b>	<b>0,653</b>	<b>1486</b>	<b>1520</b>

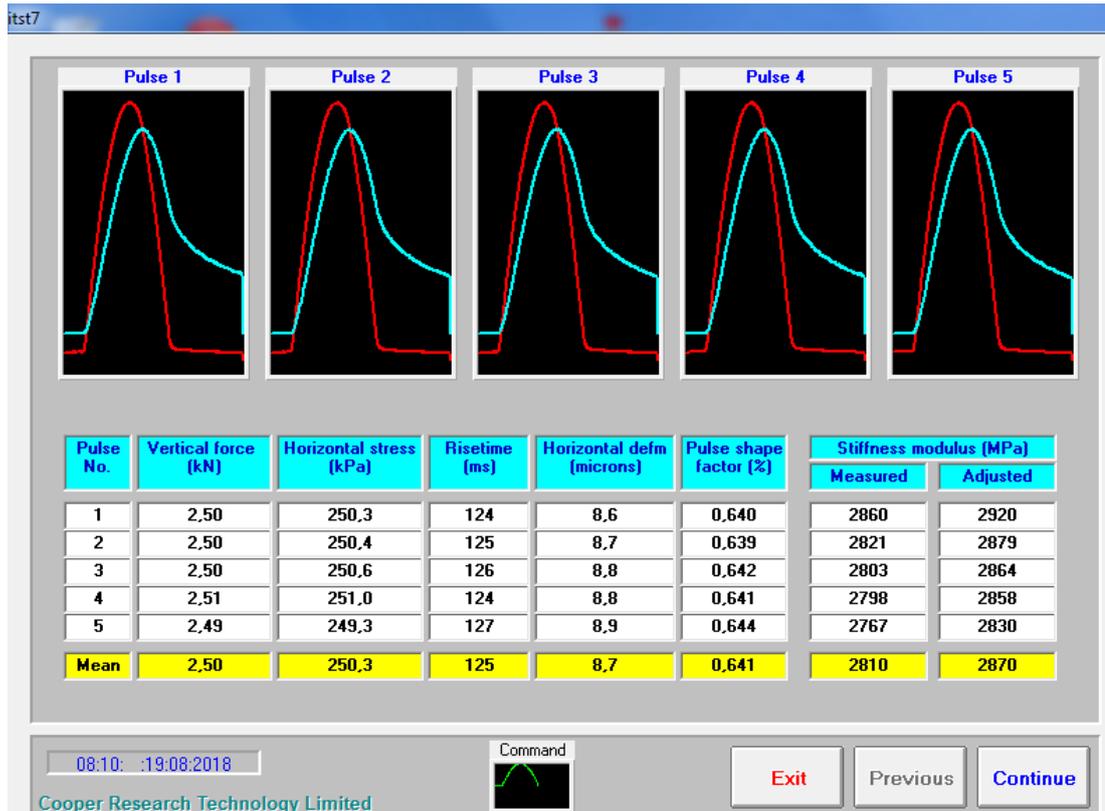
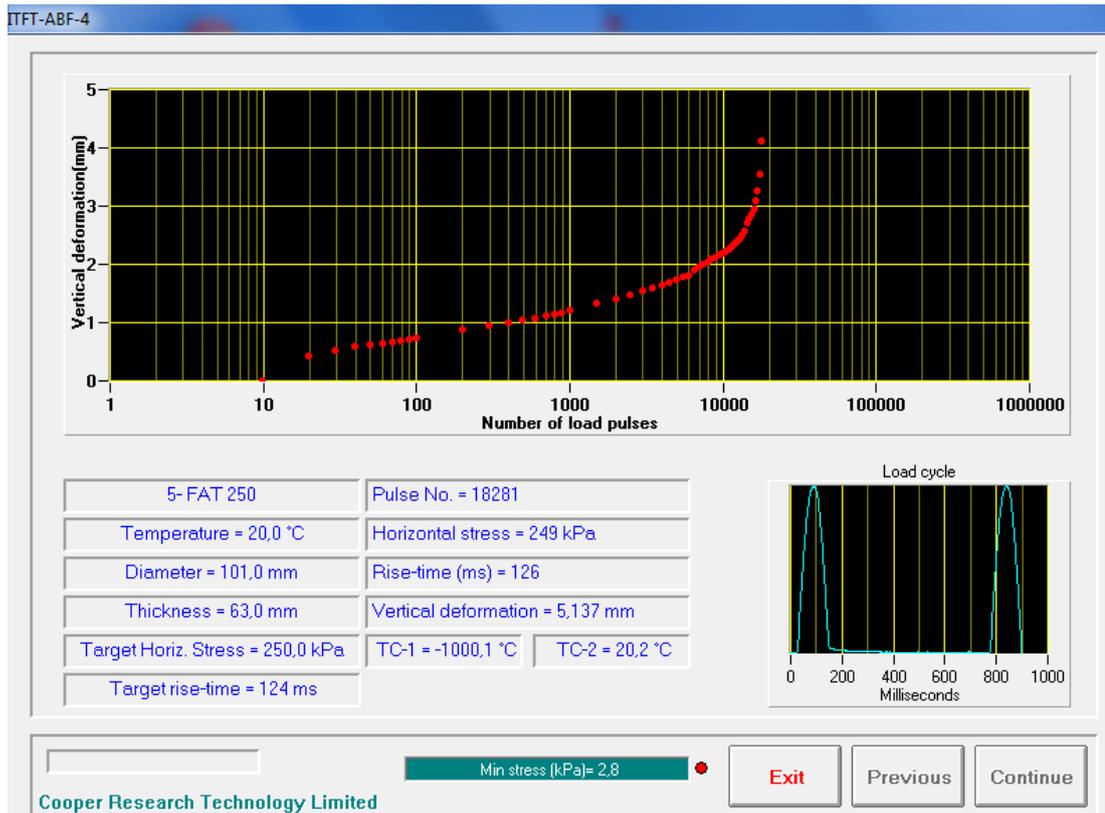
10:01 :15:10:2009

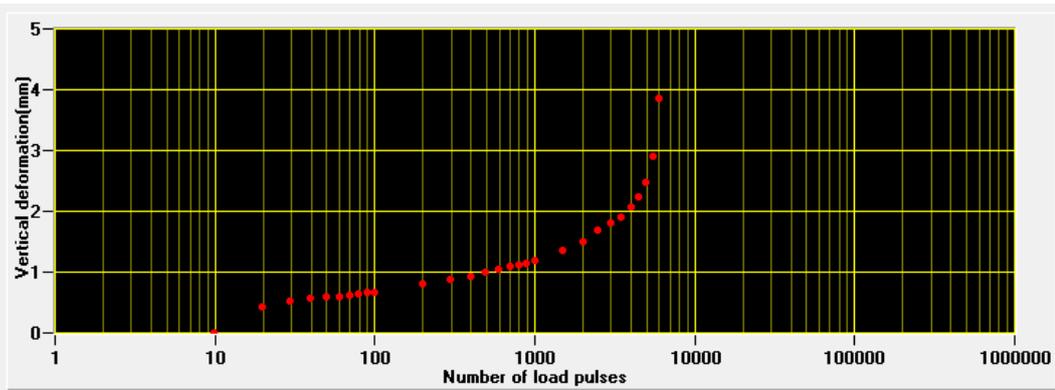
Command

Exit Previous Continue

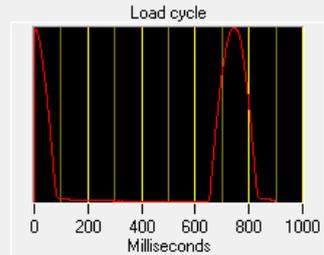
Cooper Research Technology Limited

## Anexo 19 Salida de resultados del equipo NAT para fatiga en la 6° Combinación





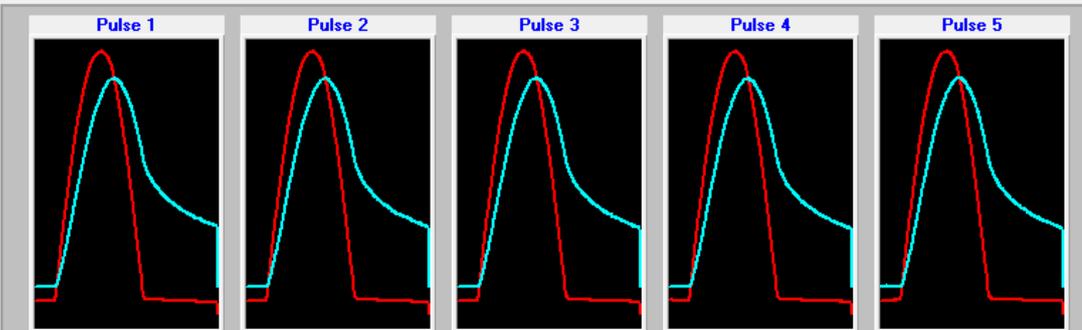
6-FAT 300	Pulse No. = 6171	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 300 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 186	
Thickness = 63,0 mm	Vertical deformation = 5,193 mm	
Target Horiz. Stress = 300,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 19,8 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa)= 3,1

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



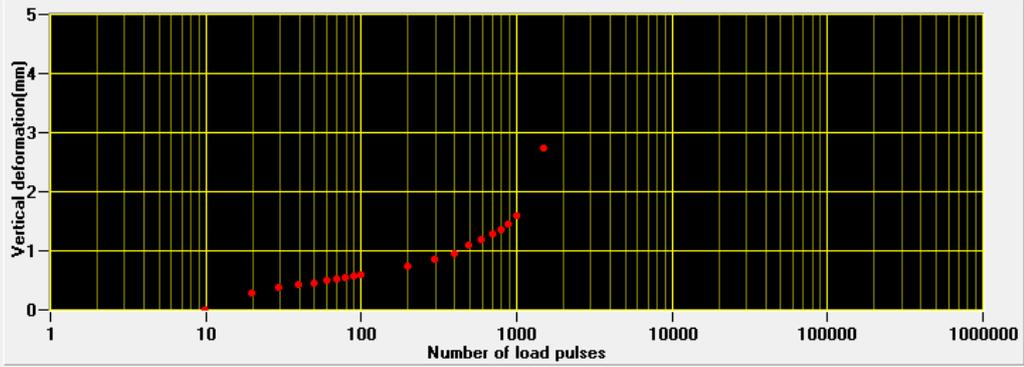
Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	2,95	299,5	123	12,2	0,642	2402	2453
2	2,95	299,9	125	12,2	0,650	2415	2475
3	2,95	300,1	120	12,2	0,641	2418	2469
4	2,94	298,6	123	12,2	0,644	2401	2454
5	2,95	300,3	122	12,2	0,641	2418	2467
<b>Mean</b>	<b>2,95</b>	<b>299,7</b>	<b>123</b>	<b>12,2</b>	<b>0,644</b>	<b>2411</b>	<b>2464</b>

08:11: :19:08:2018

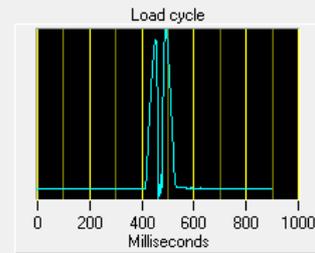
Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



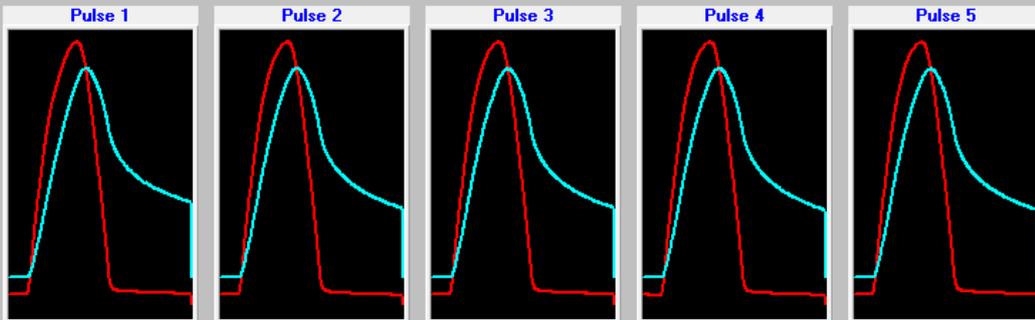
1-FAT 400	Pulse No. = 1581	
Temperature = 20,0 °C	Horizontal stress = 333 kPa	
Diameter = 101,0 mm	Rise-time (ms) = 58	
Thickness = 61,0 mm	Vertical deformation = 5,396 mm	
Target Horiz. Stress = 400,0 kPa	TC-1 = -1000,1 °C	TC-2 = 23,6 °C
Target rise-time = 124 ms		



Min stress (kPa) = -16,4

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



Pulse No.	Vertical force (kN)	Horizontal stress (kPa)	Risetime (ms)	Horizontal defm (microns)	Pulse shape factor (%)	Stiffness modulus (MPa)	
						Measured	Adjusted
1	3,83	395,3	132	16,9	0,661	2300	2370
2	3,84	396,8	130	16,9	0,669	2307	2386
3	3,86	398,8	128	17,2	0,665	2278	2351
4	3,86	399,0	130	17,2	0,665	2273	2346
5	3,85	398,2	130	17,4	0,664	2248	2319
<b>Mean</b>	<b>3,85</b>	<b>397,6</b>	<b>130</b>	<b>17,1</b>	<b>0,665</b>	<b>2281</b>	<b>2355</b>

08:17: :15:08:2018

Command

Exit Previous Continue

Cooper Research Technology Limited



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Kevin Alberto Icaza Preciado** y **Walter Antonio Mera Intriago** con C.C: # **0929068302** y # **0921572277** respectivamente, autores del trabajo de titulación: **Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

**Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2018**

---

Nombre: **Kevin Alberto Icaza  
Preciado**

C.C: **0929068302**

---

Nombre: **Walter Antonio Mera  
Intriago**

C.C: **0921572277**



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Influencia de los asfaltos mejorados con rejuvenecedores en el comportamiento de las mezclas asfálticas		
<b>AUTORES</b>	Kevin Icaza Preciado; Walter Mera Intriago		
<b>TUTOR</b>	Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de septiembre del 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	136
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Mezcla asfáltica, Rejuvenecedores, Asfalto		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Rejuvenecedores, Envejecimiento, Asfalto, Mezcla asfáltica, Sylvaroad, Danox, Hydrolene		

#### **RESUMEN**

Los aditivos rejuvenecedores son utilizados comúnmente en el reciclado de mezclas asfálticas. Algunos trabajos preliminares desarrollados en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil también han mostrado resultados prometedores como aditivos aplicados directamente a los asfaltos ecuatorianos, para mejorar sus propiedades luego de envejecidos.

El objetivo del trabajo que se presenta es evaluar, de manera experimental, el efecto del empleo de asfaltos mejorados con agentes rejuvenecedores en el comportamiento de mezclas asfálticas en cuya elaboración se mantienen constantes las características del esqueleto pétreo, para a partir de las comparaciones valorar el papel práctico de dichos agentes.

Se emplearon dos tipos de asfaltos ecuatorianos: PG 64-22 y PG 64-28, mezclados con diferentes rejuvenecedores (Hydrolene, Sylvaroad y Danox) y un aceite base, variando el tipo y las proporciones en las seis combinaciones realizadas. Se seleccionó un tipo de mezcla densa con agregados minerales basálticos y 5.5% de asfalto para dichas combinaciones. A las mezclas confeccionadas se le aplicaron pruebas de estabilidad Marshall y flujo, módulo de rigidez, compresión cíclica y fatiga. Además, se evaluó el daño en agua a través de la resistencia retenida a tracción indirecta.



El estudio evidenció que al emplear asfaltos con rejuvenecedores el comportamiento a la fatiga de la mezcla mejoró notablemente. No obstante, el daño en agua en tres de las seis mezclas analizadas alcanzó niveles inadecuados. En general la mezcla donde se empleó como rejuvenecedor el Sylvaroad fue la de mejor desempeño.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTORES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-5107904 +593-990085100	E-mail: <b>kevin_icaza94@hotmail.com</b>
	<b>Teléfono:</b> +593-4-2851141 +593-998419715	E-mail: <b>walterantonio.mera@gmail.com</b>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>	
	<b>Teléfono: +593-4 -2206956</b>	
	<b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		