



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-A-004

CAPACIDAD DE SOPORTE ESTRUCTURAL DE LA RUTA NACIONAL 32

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Junio, 2013

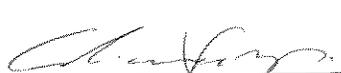
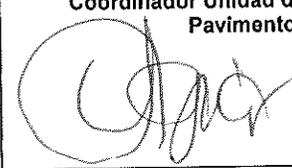
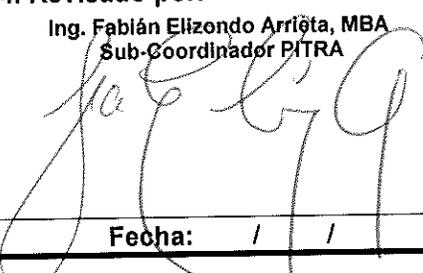
1. Informe LM-PI-UMP-A-002		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: CAPACIDAD DE SOPORTE ESTRUCTURAL DE LA RUTA NACIONAL 32		4. Fecha del Informe Junio, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias El informe es un seguimiento por parte de la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA, ante la solicitud realizada por el Ministro de Obras Públicas y Transportes, en concordancia con lo establecido en el Artículo 6, inciso g) de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria (N°8114), y que concluyó con la emisión del informe LM-PI-UMP-A-002		
9. Resumen <i>El siguiente informe presenta los resultados de una evaluación de deflectometría realizada en la Ruta 32, en un tramo de aproximadamente 1,3 km en el sentido San José – Limón, ubicado entre el cruce de "La República" y el puente que comunica a San Juan de Tibás. Con base en los datos de deflectometría se realizó un análisis de las deflexiones y de la capacidad estructural del tramo, mediante el retrocálculo de módulos.</i> <i>Adicionalmente, se tomaron muestras de mezcla asfáltica y se realizaron ensayos de desempeño en el laboratorio para tener un mejor entendimiento del comportamiento de la mezcla asfáltica convencional y la mezcla modificada utilizada en el proyecto.</i> <i>Es importante aclarar que las muestras evaluadas como parte de este informe son limitadas y no se pretenden generalizar los resultados a todo el proyecto. A si mismo, las mezclas evaluadas no deben utilizarse como sustituto a una adecuada verificación de calidad ni deben ser consideradas en los procesos de pago.</i>		
10. Palabras clave Deflectometría de impacto, FWD, retrocálculo de módulos, CBR, Carretera Braulio Carrillo, Ruta 32	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 30
13. Preparado por: Ing. Adriana Vargas Nordbeck, PhD Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 17/6/13	Ing. Fabricio Leiva Villacorta, PhD Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 17/6/13	Ing. José Pablo Aguiar, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 17/6/13
14. Revisado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA Sub-Coordinador PITRA  Fecha: / /	15. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 17/6/2013	

TABLA DE CONTENIDO

2. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO	6
3. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES.....	8
3. RETROCÁLCULO DE MÓDULOS.....	15
4. ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN LABORATORIO.....	18
5. CARACTERIZACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO.....	20
5.1. MÓDULO RESILIENTE.....	20
5.2. ANALIZADOR DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS (APA).....	21
5.3. RUEDA DE HAMBURGO	22
5.4. RESISTENCIA RETENIDA A LA TENSIÓN DIAMETRAL	23
5.5. FATIGA A FLEXOTRACCIÓN	24
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
APÉNDICE. DEFLEXIONES MEDIDAS EN EL SITIO	28

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE TRAMOS EVALUADOS CON EL FWD.....	7
FIGURA 2. DEFLEXIONES MEDIDAS PARA UNA CARGA DE 40 KN.....	9
FIGURA 3. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.....	10
FIGURA 4. DETERMINACIÓN DE SECCIONES HOMOGÉNEAS.....	11
FIGURA 5. MÓDULO SUPERFICIAL POR SECCIÓN.....	13
FIGURA 6. ESQUEMA DE ESTRUCTURA USADA EN EL RETROCÁLCULO DE MÓDULOS.....	16
FIGURA 7. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULO PARA LA CAPA DE SUB-BASE.....	17
FIGURA 8. RESULTADOS DE MÓDULO RESILIENTE EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ENSAYO.....	20
FIGURA 9. DEFORMACIÓN PERMANENTE PROMEDIO MEDIDA MEDIANTE EL APA.....	22
FIGURA 10. DEFORMACIÓN MÁXIMA MEDIDA MEDIANTE LA RUEDA DE HAMBURGO.....	23
FIGURA 11. VALORES PROMEDIO DE TENSIÓN DIAMETRAL Y RESISTENCIA RETENIDA A LA TENSIÓN DIAMETRAL.....	24
FIGURA 12. NÚMERO DE REPETICIONES A LA FALLA PARA VARIOS NIVELES DE DEFORMACIÓN UNITARIA.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONFIGURACIÓN DE LOS GEÓFONOS EN EL FWD.....	6
TABLA 2. RESULTADOS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	9
TABLA 3. DEFLEXIONES EN D1 NORMALIZADAS A 40 KN.....	12
TABLA 4. PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE DATOS DE DEFLEXIÓN.....	14
TABLA 5. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULOS PARA LAS DISTINTAS SECCIONES	18
TABLA 6. GRANULOMETRÍA DE DISEÑO Y RESULTADOS DE LAS MUESTRAS DE CAMPO.....	19
TABLA 6. PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE DISEÑO.....	19
TABLA 8. NÚMERO DE REPETICIONES A LA FALLA.....	25
TABLA A1. DEFLEXIONES MEDIDAS EN EL SITIO.....	29

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente informe corresponde al seguimiento de la solicitud de análisis inicialmente realizada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en el cual se buscaba la determinación de la capacidad de soporte de las capas de sub-base y sub-rasante de la Carretera Braulio Carrillo (Ruta 32), previo a los trabajos de mejoramiento y rehabilitación realizados. Dicho análisis se presentó al MOPT mediante informe LM-PI-UMP-A-002.

Con el mismo, se busca ampliar el análisis previo estimando la capacidad de soporte final de la estructura, evaluando un tramo de aproximadamente 1,3 km en el sentido San José – Limón, ubicado entre el cruce de “La República” y el puente que comunica a San Juan de Tibás. La medición de las deflexiones se realizó el 13 de Febrero del 2013.

A continuación se analizan los datos de deflectometría y se realiza retrocálculo de módulos con el fin de determinar cuál es la resistencia de la estructura de pavimento construida en la Ruta 32. Adicionalmente, se realiza una verificación de las propiedades de la mezcla asfáltica, tras un análisis de laboratorio realizado en el LanammeUCR.

2. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO

Las deflexiones de las capas existentes se midieron utilizando el Deflectómetro de Carga de Impacto (FWD por sus siglas en inglés). El FWD es un equipo que mide el hundimiento o deflexión instantánea que experimenta el pavimento en un punto, generada por una carga de impacto aplicada sobre la superficie de dicho pavimento. Esta carga cae sobre un plato circular cuya área de contacto es similar a la de una llanta de vehículo; las deflexiones obtenidas son registradas por 9 sensores, el primero directamente debajo del plato de carga, y los demás dispuestos en un arreglo lineal a una distancia máxima de 180 centímetros, como se indica en la Tabla 1. Con esta disposición es posible obtener además la forma y tamaño del cuenco de deflexiones, el cual se relaciona con aspectos como el espesor y rigidez del pavimento, las características de los materiales de las capas subyacentes y la magnitud de la carga aplicada.

Tabla 1. Configuración de los geófonos en el FWD

No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
X:	0	200	300	450	600	900	1200	1500	1800
Y:	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En este caso, las deflexiones se midieron cada 20 metros, en el carril externo (tránsito lento), utilizando una secuencia de cargas de 30 kN, 40 kN, 50 kN y 70 kN (3 repeticiones a cada nivel de carga). La Figura 1 muestra el tramo donde se realizaron las mediciones. Debido a los trabajos de construcción que se realizaban en ese momento en la vía, los ensayos de deflectometría debieron realizarse en estos dos tramos, pues no fue posible obtener datos en toda la continuidad de los 2 km comprendidos entre el cruce de “La República” y el puente que comunica a San Juan de Tibás. Los resultados mostrados en el Apéndice fueron utilizados para efectuar un retrocálculo del módulo de cada una de las capas existentes empleando el programa Elmod 6 de Dynatest.

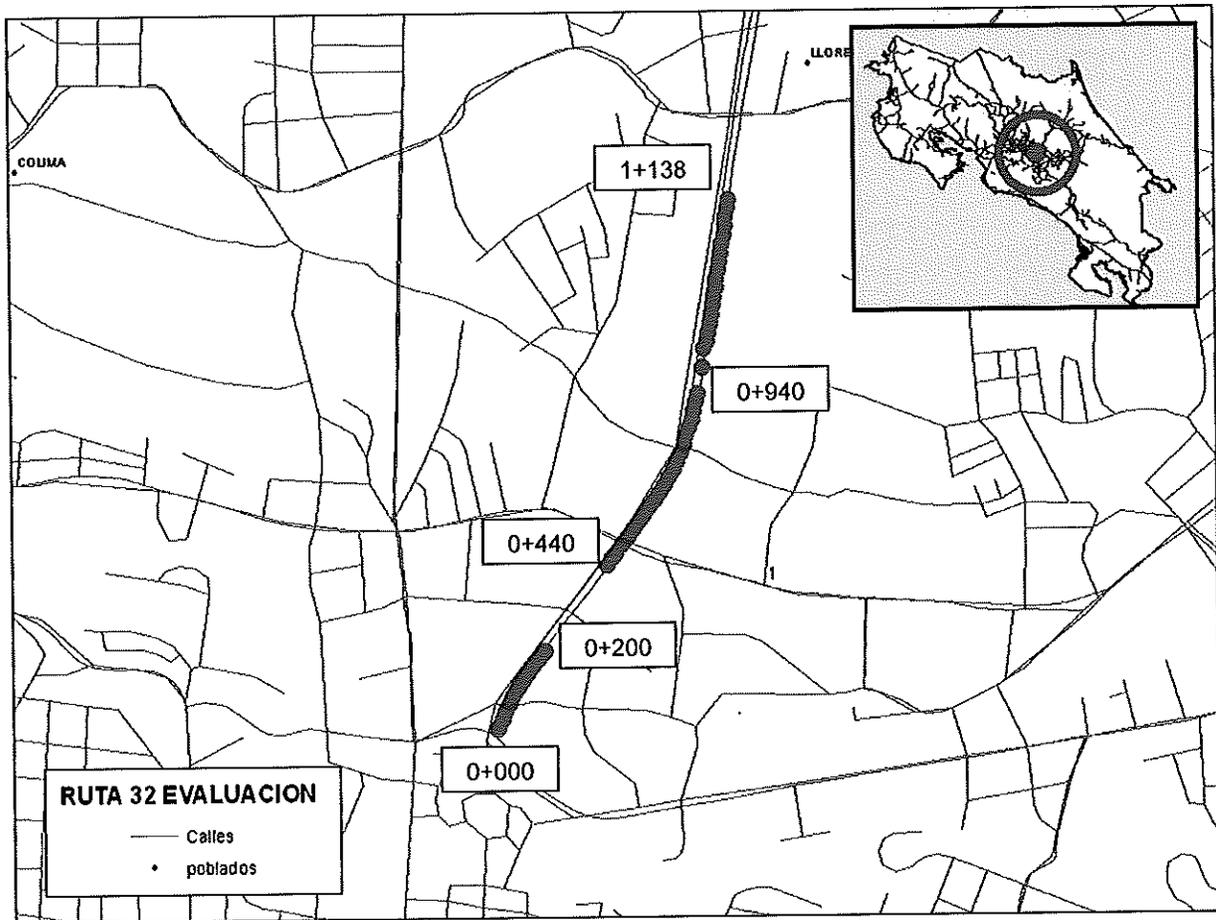


Figura 1. Ubicación de tramos evaluados con el FWD

Con el fin de determinar el módulo de las distintas capas existentes, se realizó un análisis de las deflexiones y el posterior retrocálculo de módulos con base en los ensayos de

deflectometría descritos anteriormente, así como datos de espesores de la capa de sub-base suministrados por personal del CONAVI.

3. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

La Figura 2 muestra el promedio de 3 repeticiones de ensayo al mismo nivel de carga de 40 kN para las deflexiones medidas en los 9 sensores por cada estación. Se observan deflexiones relativamente bajas entre las estaciones 0+00 y 0+220, luego un incremento significativo hasta alcanzar un punto máximo en la estación 0+520. A partir de la estación 0+600 y hasta la 0+720 se observan de nuevo deflexiones relativamente bajas para luego obtener un incremento pronunciado hasta la estación 1+080. Hacia el final del tramo ensayado se observa nuevamente una disminución en las deflexiones medidas. Cabe resaltar que este comportamiento se da en todos los sensores lo cual es una indicación de que las deflexiones medidas se deben a la capacidad de soporte de la estructura completa y a la vez indica una heterogeneidad en las propiedades de los materiales de las diferentes capas.

La Tabla 2 muestra resultados de estadística descriptiva para las deflexiones en los 9 sensores. Aquí se observa una alta variabilidad en las deformaciones con coeficientes de variabilidad por encima del 30% y amplios rangos de deflexiones (máximo - mínimo) para cada sensor. Esto confirma la heterogeneidad del tramo ensayado, ya sea en propiedades o capacidad estructural de las diferentes capas o en los espesores.

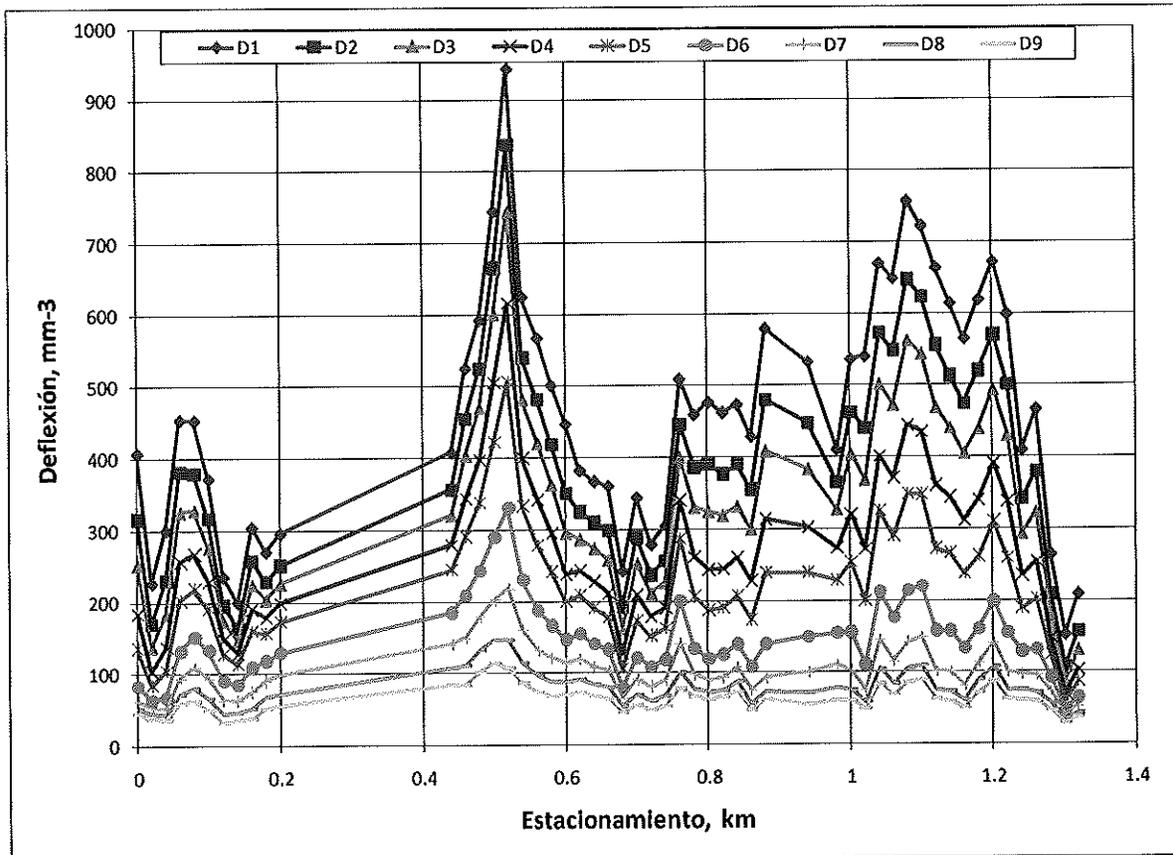


Figura 2. Deflexiones medidas para una carga de 40 kN.

Tabla 2. Resultados de Estadística Descriptiva

Sensor	Promedio	Des. Est.	COV	Mínimo	Máximo
D1	464.7	167.4	36%	152.8	943.6
D2	390.7	149.6	38%	107.6	836.9
D3	338.7	132.7	39%	86.5	744.7
D4	272.6	107.2	39%	69.6	616.3
D5	220.7	86.2	39%	60.1	507.0
D6	147.6	55.2	37%	48.1	331.0
D7	105.0	36.6	35%	40.6	218.6
D8	78.6	25.2	32%	33.4	147.2
D9	62.7	18.9	30%	28.3	114.2

Durante el ensayo de deflectometría de impacto, la temperatura ambiental fue obtenida en el rango de 23.7 a 26.2 °C, mientras que la temperatura en la superficie del pavimento varió de 23.8 a 27.7 °C con un promedio de 26 °C. La Figura 3 muestra la comparación entre las deflexiones bajo el centro de la carga circular (D1) para cada estación y la temperatura superficial del pavimento. Con esta Figura se observa como la respuesta del pavimento no está relacionada a la temperatura superficial del pavimento. Al inicio del tramo ensayado se obtuvieron bajas deflexiones cuando en la superficie del pavimento se estaban obteniendo las temperaturas más altas. Por otro lado, se observa una disminución paulatina de la temperatura de 3.9 °C, lo cual no correlaciona con el comportamiento observado en las deflexiones. Con esto, se descarta el potencial efecto de la temperatura sobre la respuesta estructural y se atribuye esta variabilidad observada a otros factores como espesor y capacidad estructural o módulo de las diferentes capas.

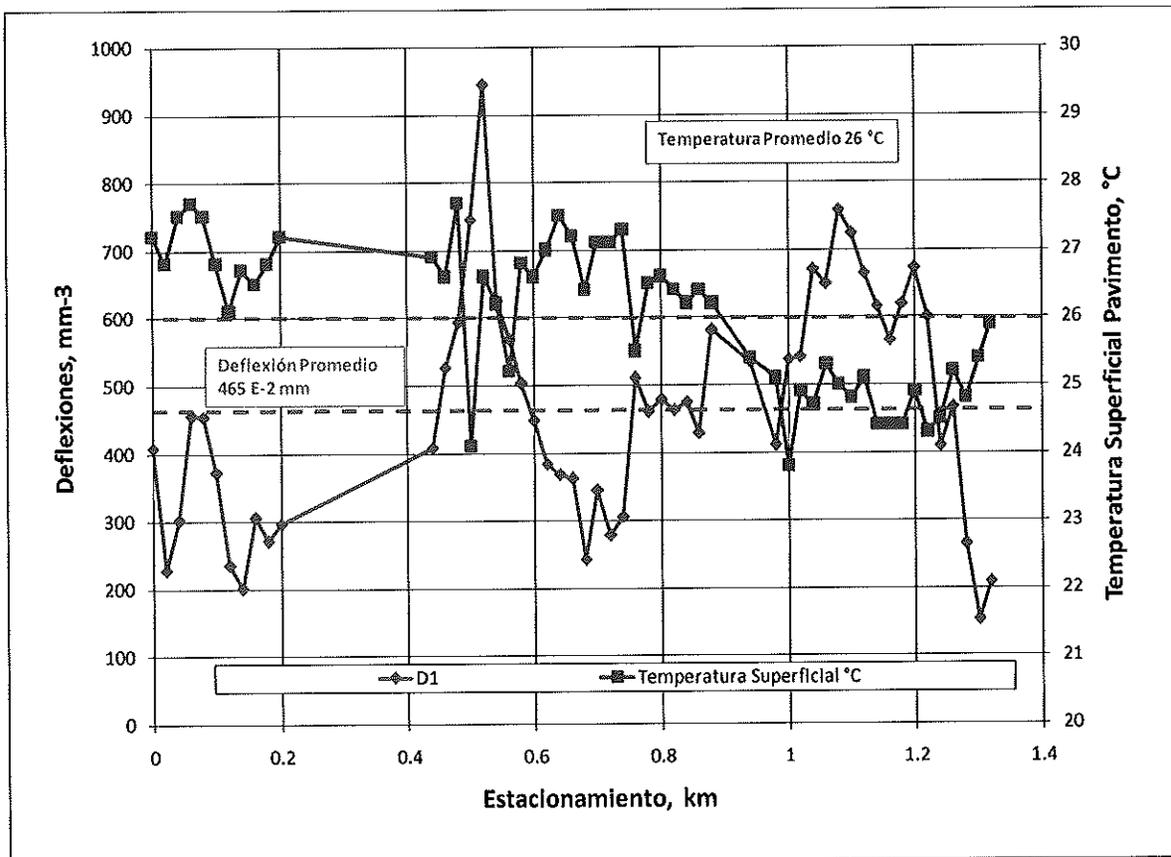


Figura 3. Temperatura superficial del pavimento.

Mediante la aplicación del método de diferencias acumuladas fue posible determinar la presencia de 6 secciones dentro del tramo ensayado. La Figura 4 muestra los resultados de la aplicación de esta metodología usando las deflexiones normalizadas a 40 KN en el centro del punto de carga. Los resultados para cada sección se muestran en la Tabla 3. La deflexión promedio del tramo completo de ensayo es de 465×10^{-3} mm con una desviación estándar de $170,1 \times 10^{-3}$ mm.

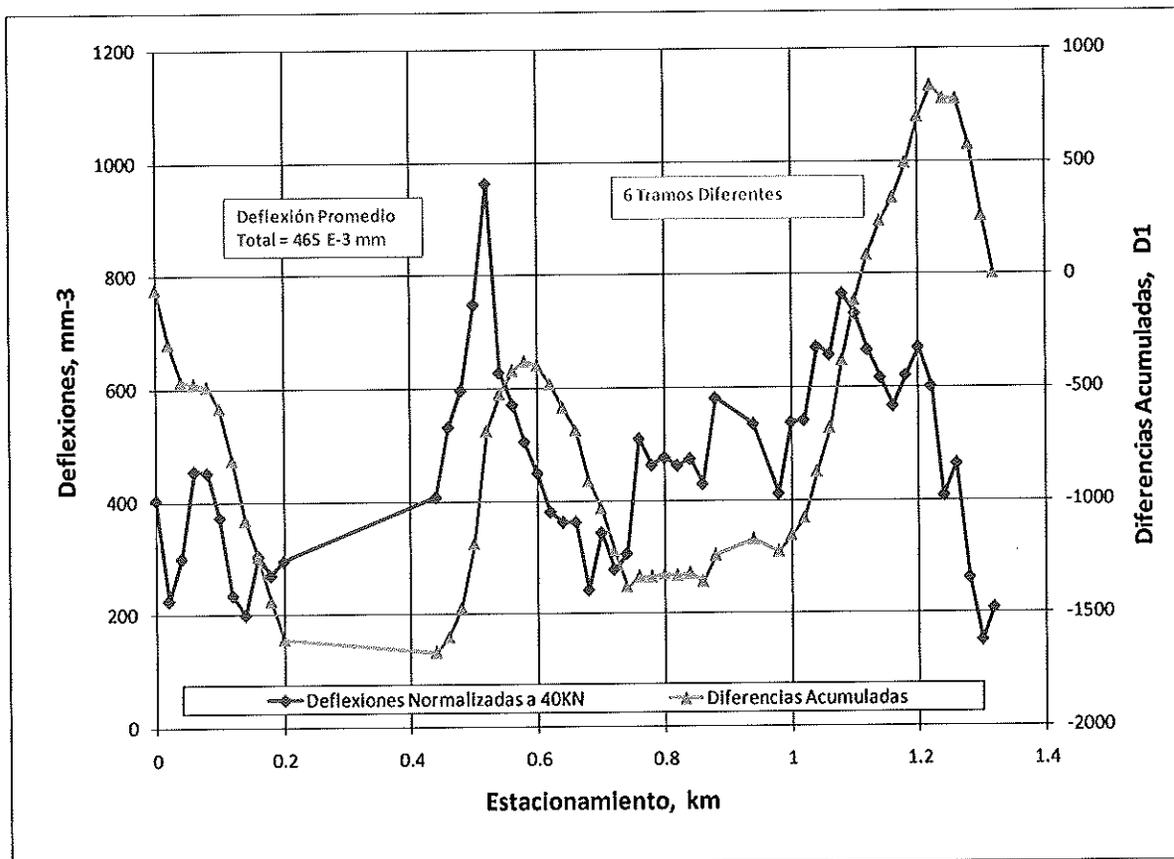


Figura 4. Determinación de secciones homogéneas.

Tabla 3. Deflexiones en D1 normalizadas a 40 kN

Sección	Estacionamiento	Promedio	Des. Est.	Percentil 84
1	0,000 - 0,200	320,4	89,6	426,3
2	0,440 - 0,580	613,9	165,1	730,3
3	0,600 - 0,740	341,6	64,4	381,3
4	0,760 - 0,980	482,2	52,1	527,0
5	1,000 - 1,220	634,7	68,5	684,7
6	1,240 - 1,318	300,7	133,5	430,7

Un parámetro que es utilizado para medir la capacidad estructural del pavimento, independiente a los espesores de capa, es el módulo superficial. El módulo superficial fue obtenido para cada sensor en cada estación. El módulo superficial está asociado a la capacidad estructural de las diferentes capas de una estructura de pavimento. Módulos superficiales calculados cerca del plato de carga están asociados a la capacidad estructural de las capas superiores, mientras que módulos superficiales lejos del plato de carga están asociados a la capacidad estructural de las capas inferiores.

En la Figura 5 puede observarse que la secciones 2 y 5 presentan los módulos superficiales más bajos en la zona cercana a la aplicación de la carga. Sin embargo, la sección 2 muestra módulos más bajos que se relacionan con las capas inferiores. Seguidamente se encuentra la sección 4 con módulos mayores a las secciones 2 y 5 pero por debajo del promedio general. No obstante, esta sección muestra una capacidad estructural de las capas inferiores similar a las secciones 3 y 5. Finalmente, la sección 6 muestra los mayores módulos, seguido de las secciones 1 y 3.

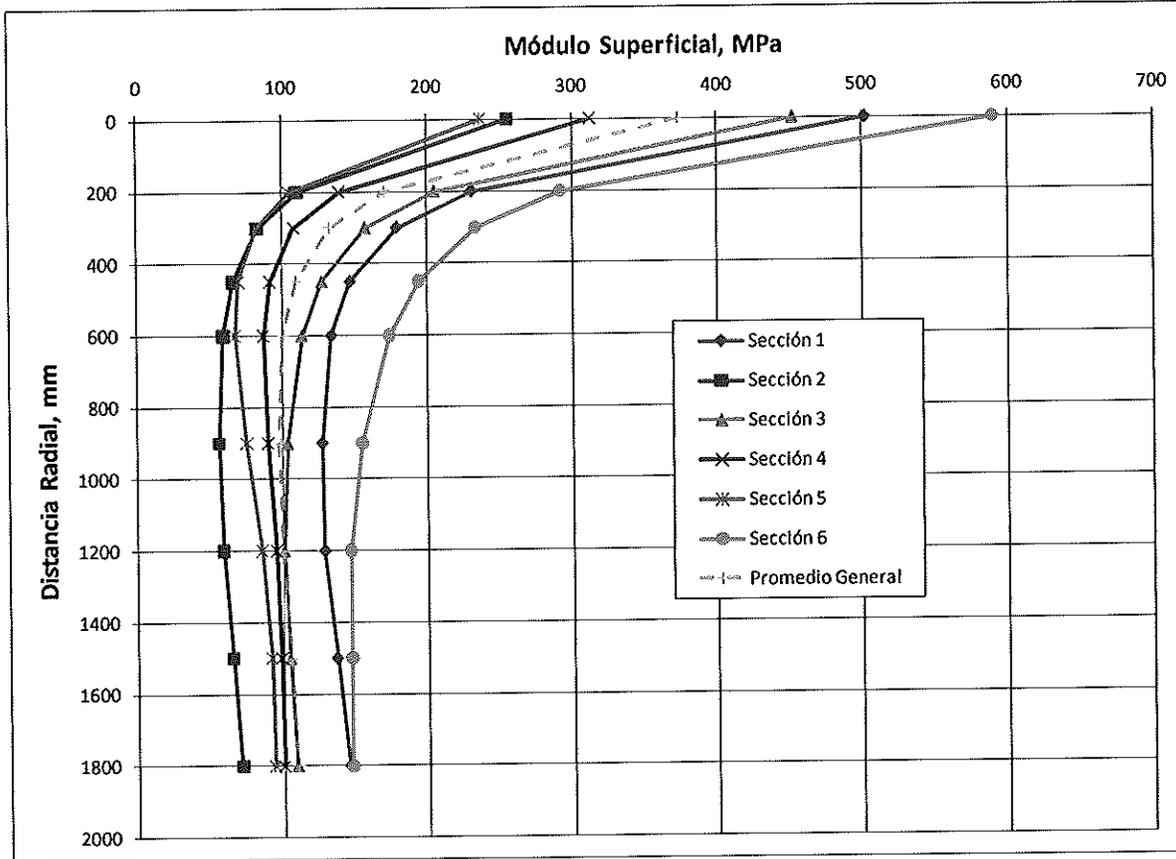


Figura 5. Módulo superficial por sección.

Con el fin de validar las observaciones previas, existen además algunos indicadores con base en las medidas de deflexión que se usan a nivel internacional para cuantificar la capacidad del paquete estructural o las distintas capas. A saber, estos parámetros se conocen como: ÁREA, Índice Base de Curvatura (BCI por sus siglas en inglés), Índice base de Daño (BDI por sus siglas en inglés) e Índice de Curvatura Superficial (SCI por sus siglas en inglés).

El parámetro ÁREA es una medida del envolvente de deflexiones que ayuda en la caracterización de la capacidad estructural de un pavimento. El parámetro se define como sigue:

$$\text{ÁREA} = 150 \frac{(D_1 + 2D_3 + 2D_5 + D_6)}{D_1} \quad \text{Ec. 1}$$

Nótese que el parámetro **ÁREA** está normalizado por el valor de deflexión máxima D1. Adicionalmente, nótese, que en caso que la estructura sea muy rígida (alta capacidad de soporte), las cuatro deflexiones serán iguales y el **ÁREA** corresponderá a un valor de 900 mm. En el extremo opuesto, el mínimo valor que se puede obtener es de 278 mm (cuando el módulo elástico de todas las capas es el mismo).

Los valores del parámetro **ÁREA** para los pavimentos en cuestión se presentan en la Tabla 4. Bajo la suposición de que la estructura de pavimento es constante en todas las secciones, se puede determinar que el promedio del parámetro **ÁREA** varía en un rango entre los 524,8 mm y 601,4 mm. Nótese que en general se establece que un pavimento flexible, con un espesor de capa asfáltica mayor a 10 cm deberá presentar valores de **ÁREA** entre 530 y 760 mm, mientras que un pavimento con capa asfáltica menor a 10 cm presenta valores típicos de **ÁREA** entre 410 y 530 mm^a.

Se observa que para la estructura en análisis, el promedio pareciera indicar que para todas las secciones (con excepción de la Sección 6), la capacidad está cercana al extremo inferior del rango esperado. No obstante, dada la variabilidad observada, un 25,8% de los puntos donde se realizó deflectometría tienen parámetros **ÁREA** menores a 530.

Tabla 4. Parámetros de caracterización de datos de deflexión

Sección	Estacionamiento	ÁREA (mm)	BCI (mmx10 ⁻³)	BDI (mmx10 ⁻³)	SCI (mmx10 ⁻³)
1	0 - 0,2	557,1 (55,8)	45,7 (15,1)	73,9 (30,2)	94,6 (31,7)
2	0,44 - 0,58	601,4 (24,0)	101,6 (35,4)	144,1 (45,8)	137,5 (30,1)
3	0,6 - 0,74	572,2 (26,6)	45,8 (8,4)	74,5 (13,2)	95,6 (24,3)
4	0,76 - 0,98	546,7 (37,8)	76,1 (11,9)	130,2 (19,0)	134,3 (24,8)
5	1,0 - 1,22	540,6 (20,7)	109,7 (12,3)	180,5 (16,0)	173,0 (15,8)
6	1,24 - 1,318	524,8 (25,6)	38,6 (22,8)	70,9 (38,0)	97,5 (29,2)

(*) El valor en paréntesis corresponde a la desviación estándar asociada.

^a Hoffman, M. 1981. Development of a Computer Program for determination of the Area Value and Subgrade Modulus using FWD test. Ph.D. dissertation.

De manera similar el parámetro ÁREA, los indicadores BCI, BDI y SCI también se incluyen en la Tabla 4. Los valores de BCI, BDI y SCI se definen matemáticamente de la siguiente forma:

$$BCI = D_5 - D_6 \quad \text{Ec. 2}$$

$$BDI = D_3 - D_5 \quad \text{Ec. 3}$$

$$SCI = D_1 - D_3 \quad \text{Ec. 4}$$

En general se establece que valores altos de BCI y BDI corresponden a estructuras de pavimento con baja resistencia. Valores de BCI^b cercanos o mayores a 200 indican potenciales deficiencias estructurales en las capas intermedias. Como puede observarse en la Tabla 4 ninguno de los puntos supera este valor de 200. Valores de BDI^b cercanos o mayores a 100 indican potenciales deficiencias estructurales en las capas de soporte y como es evidente de la Tabla 4, la gran mayoría de los puntos donde se realizaron las mediciones excedieron dicho límite (el promedio de BDI para todos los puntos evaluados es de 118×10^{-3} mm).

Finalmente, el parámetro SCI² es indicativo de la capacidad de la capa asfáltica. Sin embargo, dicho valor es muy sensible al espesor de dicha capa. De la tabla se puede observar que dicho indicador varía de $94,6 \times 10^{-3}$ mm a $137,5 \times 10^{-3}$ mm, con desviaciones de hasta $31,7 \times 10^{-3}$ mm, lo cual es muy amplio y puede indicar variaciones en la homogeneidad de las capas asfálticas a lo largo de las secciones donde se realizaron los ensayos de deflectometría. Valores de SCI cercanos o mayores a 400 indican potenciales deficiencias estructurales en las capas superiores. Como puede observarse en la Tabla 4 ninguno de los puntos supera este valor de 400.

3. RETROCÁLCULO DE MÓDULOS

A lo largo de las 6 secciones identificadas mediante el análisis de diferencias acumuladas, el retrocálculo de módulos se realizó simulando una estructura de 4 capas, a saber: capa de subrasante con espesor infinito (parte superior mejorada con cemento), subbase mejorada con cemento de 20 cm, base granular de 20 cm y carpeta asfáltica de 18 cm (6 cm mezcla

^b Horak, E. 2008. Benchmarking the structural condition of flexible pavements with deflection bowl parameters. Journal of the South African Institution of Civil Engineering • Volume 52 0 Number 2.

modificada con polímero / 6 cm mezcla convencional / 6 cm mezcla modificada con polímero), tal y como se muestra en la Figura 6.

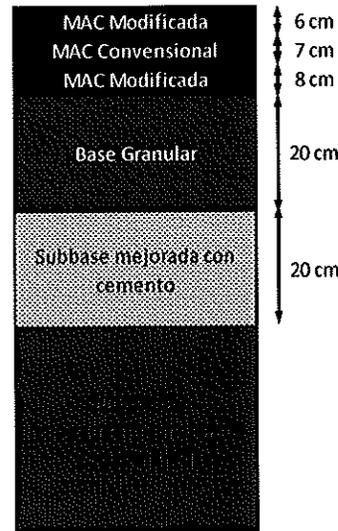


Figura 6. Esquema de estructura usada en el retrocálculo de módulos

La Figura 7 muestra los resultados del retrocálculo de módulo sobre las distintas capas de la estructura del pavimento. Adicionalmente, la Tabla 5 muestra un resumen de los resultados de retrocálculo.

Los valores de módulo retrocalculado de la capa asfáltica son presentados a una temperatura de referencia de 25 °C. En general se observa un incremento en resistencia del material de subrasante tras el mejoramiento con cemento, en contraste con los módulos presentados en el informe LM-PI-UMP-A-002. No obstante, para las secciones 2, 4 y 5, se observan módulos inferiores a los de las demás secciones. Esto es más crítico en la sección 5, pues en general, el módulo de todos los materiales es bajo, lo que puede resultar en daños prematuros. Esto es consistente con lo observado en el análisis de deflexiones.

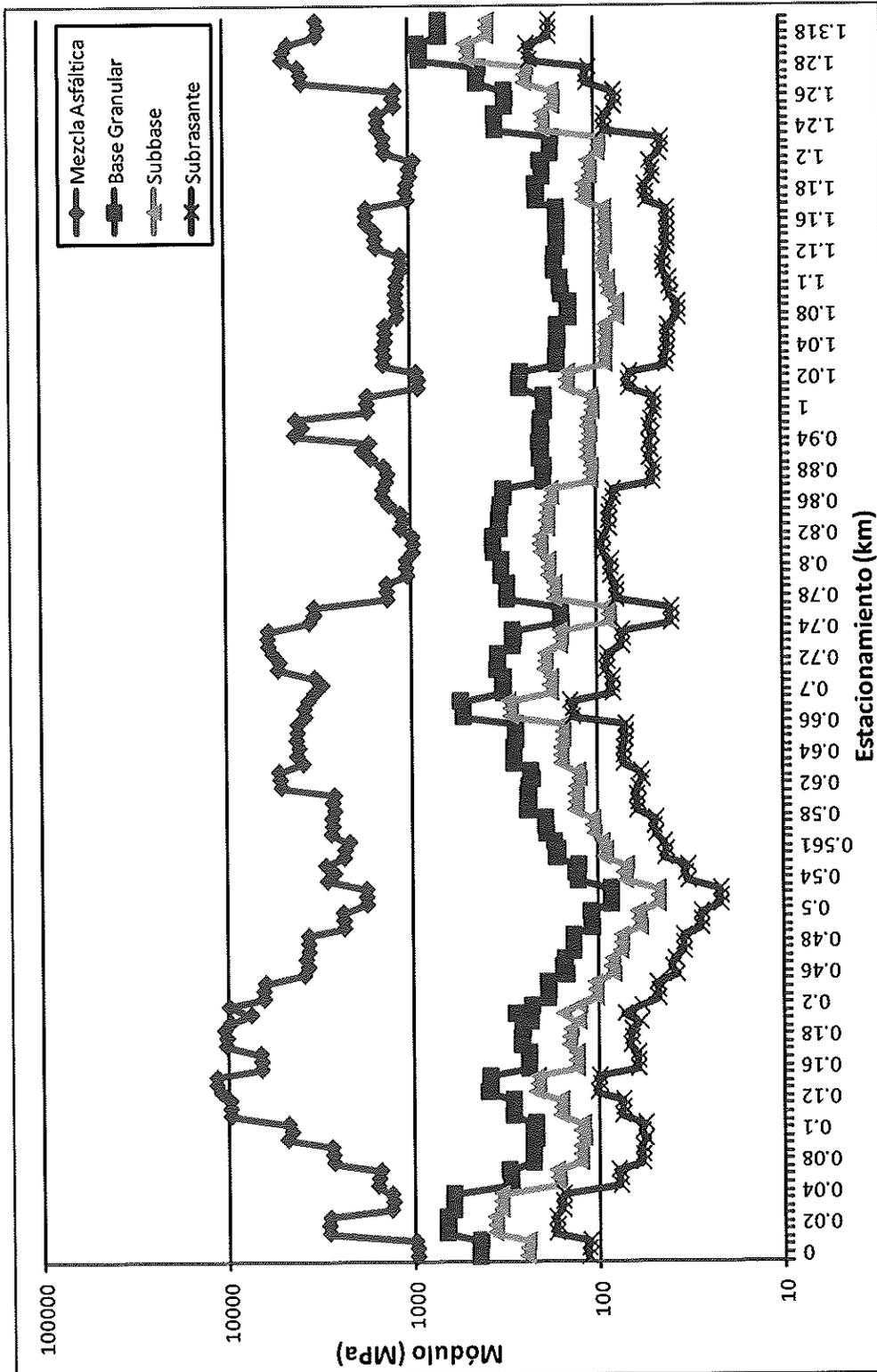


Figura 7. Resultados de retrocálculo de módulo para la capa de sub-base

Tabla 5. Resultados de retrocálculo de módulos para las distintas secciones

Capa	Capa Asfáltica (MPa)	Base Granular (MPa)	Subbase (MPa)	Subrasante (MPa)
Sección 1	5653	362	200	92
Sección 2	3262	147	81	37
Sección 3	4338	319	176	81
Sección 4	1854	270	149	69
Sección 5	1303	179	99	46
Sección 6	2902	536	296	136

4. ANÁLISIS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN LABORATORIO

Para verificar las estimaciones del retrocálculo, y para caracterizar las propiedades de la mezcla asfáltica, se desarrolló un esquema experimental que buscó caracterizar la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero, utilizadas en el proyecto, según lo indicado en la Figura 6. La mezcla asfáltica para ambas condiciones fue muestreada del proyecto durante el proceso de colocación.

La Tabla 6 muestra las granulometrías de diseño y los resultados obtenidos de muestras de campo de los dos tipos de mezcla colocados en la Ruta 32 (una mezcla no modificada y una mezcla modificada con polímero SBR al 1.8%). La mezcla asfáltica fue muestreada el 01/02/13 y el 07/02/13, en el sentido San José - Guápiles, en los estacionamientos 0+732, 0+740, 0+748, 0+765, 0+840 y 0+980 (carril izquierdo o derecho).

Los análisis de las propiedades de diseño, volumetría y posteriormente de desempeño se basan en una cantidad limitada de ensayos (mínimos requeridos para asegurar cumplir con los requisitos de variabilidad, según lo definido en cada procedimiento de ensayo). Se resalta que las mismas no fueron tomadas con el propósito de realizar una verificación de la calidad, sino más bien, para estudiar el desempeño de la mezcla asfáltica y el pavimento. Por tanto, los resultados obtenidos de estas muestras no deben ser utilizados para fines de aceptación del material, ni para fines de pago.

Tabla 6. Granulometría de diseño y resultados de las muestras de campo

Tamiz, mm	% Pasando			
	Diseño	Especificación	Convencional (*)	Modificada (*)
19	100	100	100	100
12.5	92	90-100	92,7	92,7
9,5	78	70-90	76	76
N°4	49	45-65	44,6	45
N°8	33	28-39	28,8	29
N°16	23	16-26	20,1	20
N°30	17	9-19	14,8	15
N°50	12	5-16	10,5	11
N°200	6	2-8	5	5

(*) Granulometría obtenida en laboratorio mediante recuperación de agregado.

Los parámetros volumétricos del diseño indicados por el contratista se indican en la Tabla 7. Dichos valores no se verificaron en el laboratorio. No obstante, si se realizó una verificación del contenido de asfalto de las muestras de campo mediante el ensayo del horno de ignición y se obtuvieron valores de 5.0% para la mezcla convencional y 5.9% para la mezcla modificada.

Se resalta el incremento considerable en el contenido de asfalto óptimo de la mezcla convencional contra la mezcla modificada (0,5% en el diseño y 0,9% en la mezcla de campo). Estos resultados son contrarios a lo que normalmente se espera, pues normalmente, se esperan diferencias pequeñas en el contenido óptimo de asfalto de la mezcla convencional contra la mezcla modificada, tendiendo en muchos casos la mezcla modificada a tener un contenido de asfalto un poco menor.

Tabla 7. Parámetros volumétricos de diseño de mezcla asfáltica

Parámetro	Convencional	Modificada	Especificación
% Asfalto óptimo	5,20	5,70	--
% Asfalto efectivo	4,88	5,29	--
VMA (%)	14,9	15,8	≥ 14,0
VFA (%)	73	75	65 – 78
Razón polvo/asfalto	1.2	1,1	0,6 – 1,3
Estabilidad	1750 kg	1870 kg	≥ 800 kg
Flujo	29,0 cm/100	29,5 cm/100	20 – 35 cm/100

5. CARACTERIZACIÓN Y PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Para caracterizar las mezclas asfálticas se realizaron varios ensayos a las muestras obtenidas con el fin de determinar sus características mecánicas y su desempeño en el laboratorio: módulo resiliente a la tensión diametral (AASHTO TP 31-96), resistencia a la deformación permanente mediante el analizador de pavimentos asfálticos APA (AASHTO TP 63) y la Rueda de Hamburgo (AASHTO T 324), tensión diametral (AASHTO T 283) y fatiga a flexotracción (AASHTO T 321). A continuación se muestran los resultados.

5.1. Módulo Resiliente

Los resultados del ensayo de módulo resiliente se muestran en la Figura 8. En general, la mezcla convencional presenta valores de módulo resiliente entre 25 y 50% mayores que la mezcla modificada, con las mayores diferencias observadas a las temperaturas de ensayo más bajas. Los resultados indican que la mezcla no modificada tiende a ser más rígida que la mezcla modificada a través del rango de temperaturas evaluado. Esto se puede atribuir al menor contenido de asfalto que tienen la mezcla asfáltica sin modificar.

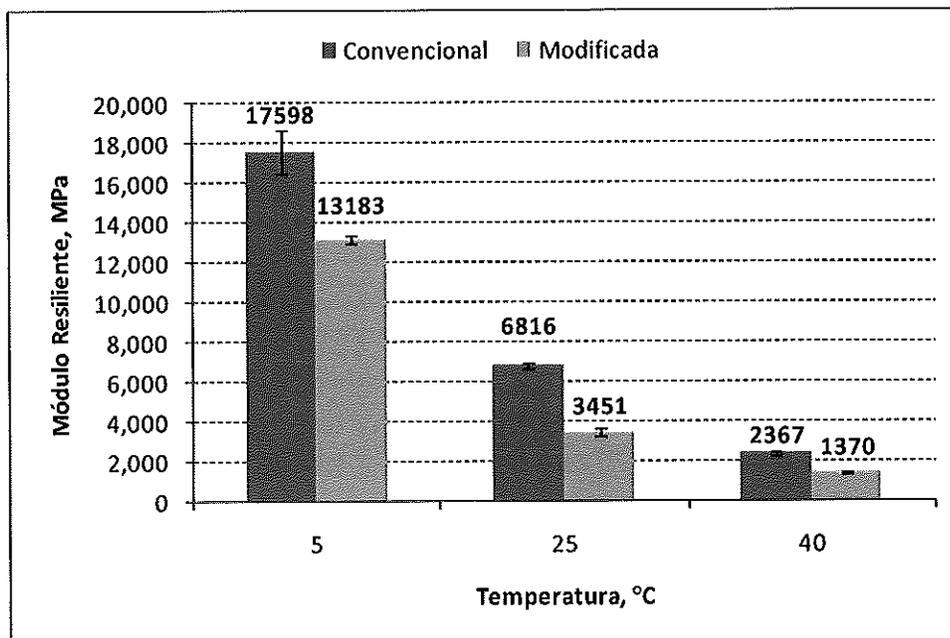


Figura 8. Resultados de módulo resiliente en función de la temperatura de ensayo.

Nótese adicionalmente que los módulos retrocalculados a la temperatura de referencia (25 °C) están para las distintas secciones en un rango entre 1303 MPa (sección 5) y 5653 MPa (sección 1). Por tanto, para la estructura compuesta de las secciones 1 a 3, los módulos de la capa asfáltica están entre los rangos esperados según los resultados de laboratorio. No obstante, los módulos de las secciones 4 a 6 son menores a los esperados. Esto se puede deber a los altos contenidos de asfalto que pueden resultar en mezclas más blandas. Adicionalmente, se puede deber a un efecto compensatorio del proceso de retrocálculo debido a no linealidad de las capas inferiores y baja capacidad de soporte.

5.2. Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

El ensayo del APA mide la deformación permanente generada por una rueda que circula sobre una manguera con una presión de 100 ± 5 psi, hasta alcanzar un total de 8000 ciclos de carga.

Los promedios de las deformaciones medidas después de 8000 ciclos de carga se muestran en la Figura 9. El ensayo se realizó a 60 °C. La mezcla convencional exhibió mejor resistencia a la deformación permanente; sin embargo, ambas mezclas mostraron un buen desempeño, con un promedio de deformación menor a los 2,5 mm. La menor deformación de la mezcla convencional está relacionada al menor contenido de asfalto, lo que normalmente se asocia con mejoras en la resistencia a la deformación. Sin embargo, esto no es el caso del agrietamiento por fatiga.

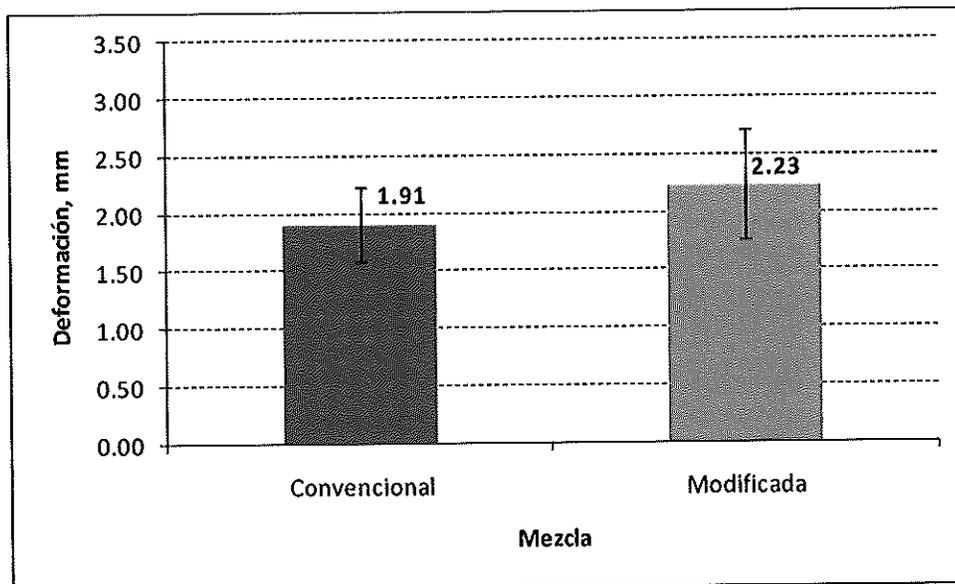


Figura 9. Deformación permanente promedio medida mediante el APA.

5.3. Rueda de Hamburgo

El ensayo de la Rueda de Hamburgo (HWTD) es más severo que el APA pues la carga es aplicada por una llanta de acero. El ensayo se realiza a una temperatura de 50 °C, bajo condiciones de inmersión de las muestras de mezcla asfáltica. Por tanto, el ensayo no solo mide el potencial de deformación, sino también la susceptibilidad al daño por humedad y al desnudamiento o "stripping".

La Figura 10 muestra la máxima deformación obtenida mediante el ensayo de la HWTD. Las tendencias son similares a las obtenidas en el ensayo APA, con la menor deformación correspondiente a la mezcla convencional, lo cual es de esperarse debido al menor contenido de asfalto. En este caso, la diferencia observada entre ambas mezclas es mayor.

A pesar que ninguna de las mezclas alcanzó el punto de inflexión (inicio del proceso de desnudamiento o "stripping") después de 10000 ciclos, lo que indica una resistencia adecuada al daño por humedad, es claro que la mezcla modificada es más susceptible al daño por humedad, puesto que el ensayo de la HWTD busca simular el proceso de desnudamiento en campo. Esto es contrario a lo esperado dado el uso de un polímero que debería mejorar las propiedades de adherencia. No obstante, el efecto del aditivo puede ser minimizado por los altos contenidos de asfalto.

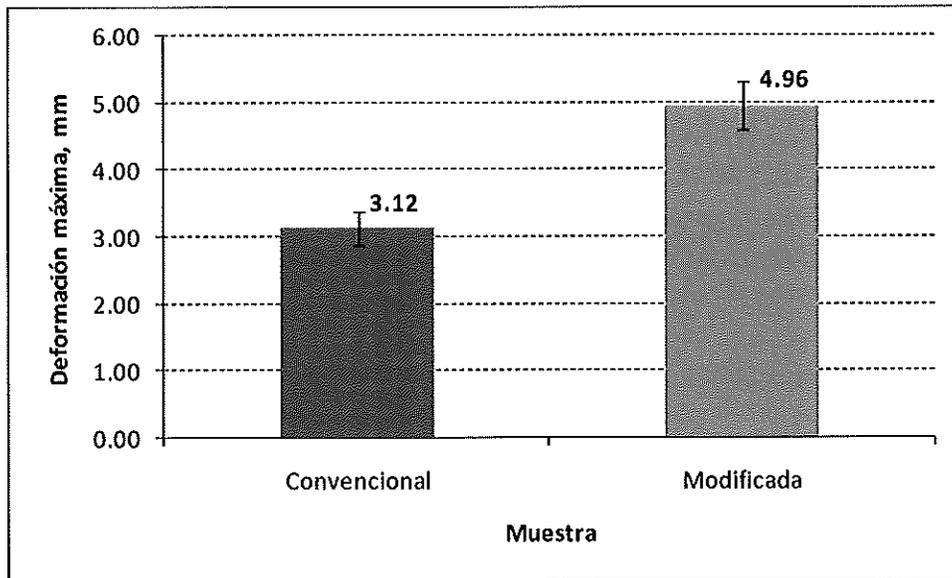


Figura 10. Deformación máxima medida mediante la Rueda de Hamburgo.

5.4. Resistencia Retenida a la Tensión Diametral

Los resultados de tensión diametral y resistencia retenida a la tensión diametral se muestran en la Figura 11. Las barras de color más claro representan los especímenes condicionados. Puede observarse que aunque ambas mezclas superan el 80% de resistencia retenida a la tensión diametral, lo cual indica baja susceptibilidad al daño por humedad, los valores de las carga para la falla tanto en especímenes secos como acondicionados son significativamente menores para la mezcla modificada.

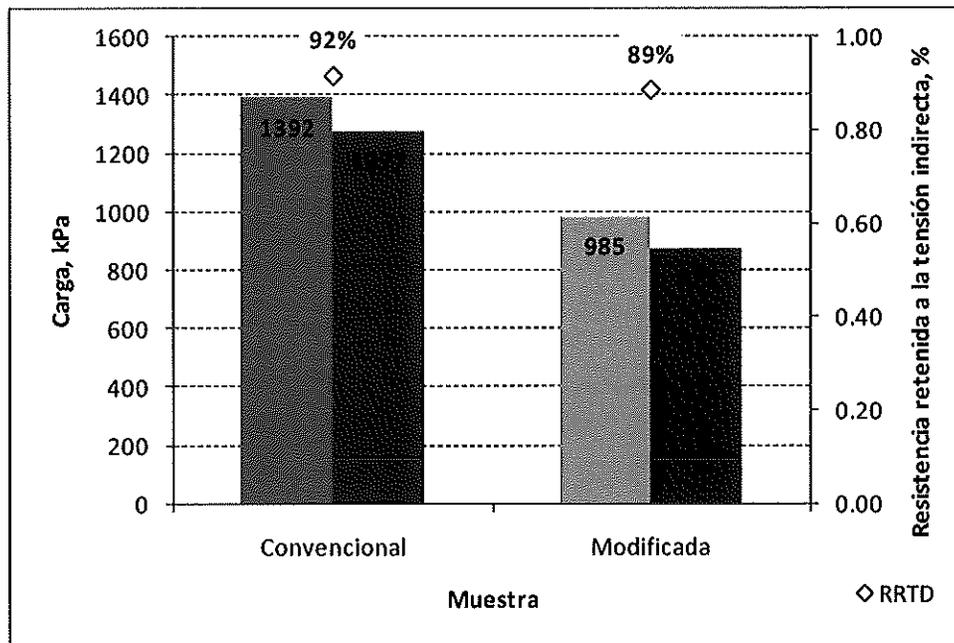


Figura 11. Valores promedio de tensión diametral y resistencia retenida a la tensión diametral.

No obstante, debe indicarse que el ensayo usado en Costa Rica para cuantificar el daño por humedad nunca ha sido objeto de un proceso de validación y adaptación para las condiciones climáticas nacionales, las cuales están altamente dominadas por una estación lluviosa muy particular del Trópico Húmedo. Por esta razón, el LanammeUCR, a través de su Proyecto de Aporte Tecnológico para el Mejoramiento de la Infraestructura Vial de Costa Rica (PROMEVIAl), y en coordinación con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y otras instituciones buscará determinar las bondades del ensayo AASHTO T 283 y su adaptación a las condiciones nacionales y regionales.

5.5. Fatiga a flexotracción

El ensayo de fatiga a flexotracción se realizó a una temperatura de 20 °C para cuatro niveles de deformación unitaria: 350 $\mu\epsilon$, 450 $\mu\epsilon$, 550 $\mu\epsilon$ y 650 $\mu\epsilon$. La Tabla 8 muestra el promedio de los ciclos de carga requeridos para alcanzar una reducción del 50% de la rigidez inicial (N_f). La Figura 12 muestra los resultados individuales para cada nivel de deformación unitaria. Puede observarse como la mezcla modificada presenta mejor resistencia al agrietamiento por fatiga y además exhibe menos variabilidad entre los datos. Esto es consistente con todos

los resultados anteriores. No obstante, no es posible identificar la fuente del incremento en resistencia a la fatiga: el aditivo modificante o el contenido mayor de asfalto, siendo el segundo el más probable.

Tabla 8. Número de repeticiones a la falla

Deformación unitaria ($\mu\epsilon$)	Convencional		Modificada	
	Promedio N_f	COV	Promedio N_f	COV
350	248,105	66.3%	1,632,295	36.0%
450	162,720	8.6%	251,210	38.3%
550	16,215	37.0%	89,885	6.5%
650	21,320	5.6%	38,340	10.5%

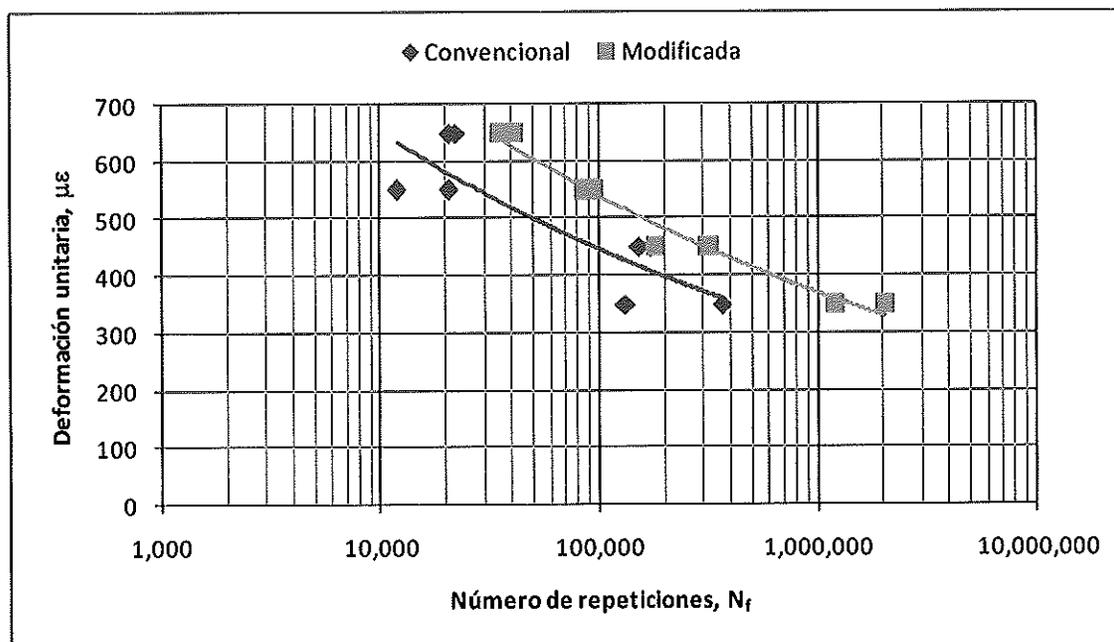


Figura 12. Número de repeticiones a la falla para varios niveles de deformación unitaria.

En general, los resultados obtenidos mostraron que la mezcla convencional posee mayor rigidez (bajo contenido de asfalto), lo cual contribuye a que tenga mejor desempeño al

someterla a pruebas de deformación permanente. Por otra parte, la mezcla modificada con SBR tuvo mayor resistencia a daño por fatiga, lo cual no puede ser atribuido necesariamente al modificante. Por último, los resultados no muestran evidencia de que las mezclas sean susceptibles al daño por humedad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se realizaron pruebas de campo a fin de determinar la capacidad de soporte de las capas existentes, y pruebas de laboratorio para verificar el desempeño de la mezcla asfáltica utilizada en el proyecto. Los resultados obtenidos indicaron que:

- El módulo retrocalculado de la capa de subrasante tiene un promedio de 72 MPa para todas las secciones. No obstante existe gran dispersión en la resistencia del material dado que la desviación estándar es de aproximadamente 40 MPa. Esto se refleja en puntos donde el módulo de la capa alcanza valores de hasta 22 MPa, lo que concuerda con la capacidad del suelo previo al tratamiento con cemento.
- Los módulos promedio obtenidos para las capas de subbase y base granular a lo largo de todas las secciones son de 156 MPa y 282 MPa respectivamente. Al igual que se da en el caso del material de subrasante, existe una dispersión considerable en la capacidad del material en el tramo de análisis.
- El módulo de la capa compuesta de mezcla asfáltica (incluye las capas modificadas y la capa intermedia convencional) presentó en promedio un módulo de 3205 MPa a una temperatura de referencia de 25 °C (para todas las secciones). Este valor es muy cercano al obtenido para la mezcla asfáltica modificada a esta temperatura en laboratorio.
- Como en las capas anteriores, se presenta una variabilidad considerable en el módulo de la capa asfáltica. El coeficiente de variación es de casi el 80% (razón entre la desviación estándar y el valor promedio). Esto se ve reflejado en la alta variabilidad que se evidenció también en el análisis de las deflexiones.
- La mayor rigidez de la mezcla asfáltica convencional se ve reflejada en las secciones 1 a 3, las cuales presentan módulos por encima del promedio, siendo la sección 1 la de mayor rigidez. Se recomienda verificar los contenidos de asfalto y los módulos de la mezcla asfáltica de estas secciones pues podrían presentar mayor susceptibilidad

a la fatiga, en caso que la mezcla compuesta se comporte similar a la mezcla convencional que se evaluó en el laboratorio.

- Los ensayos de laboratorio en la mezcla indican baja susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la deformación permanente. No obstante, en secciones como la 5, la cual presenta módulos bajos en todas las capas, se podría llegar a presentar deformación acumulada en todas las capas de la estructura.
- El diseño de la mezcla asfáltica modificada resultó en contenidos óptimos de asfalto superiores a los de la mezcla convencional (0,5%). Esta diferencia se amplificó más debido a que en la mezcla evaluada la diferencia en contenidos óptimos de asfalto es de 0,9%. Los mayores contenidos de asfalto ocultan y podrían reducir el efecto del modificante. Adicionalmente, los altos contenidos de asfalto pueden resultar en mezclas de baja rigidez. Este fenómeno se puede correlacionar con la rigidez de la mezcla asfáltica en algunas de las secciones analizadas.
- Es de suma importancia que la Administración defina claramente los criterios con los cuales se evaluará el desempeño de la mezcla asfáltica modificada. Adicionalmente, para asegurar la calidad de la mezcla asfáltica modificada, es primordial que la Administración realice un adecuado proceso de verificación de la calidad. Desafortunadamente, no es de utilidad contar con especificaciones sofisticadas y modernas si no se cuenta con los elementos básicos y necesarios para realizar una adecuada supervisión de los procesos que garanticen el su eficiente de los recursos públicos invertidos en la infraestructura vial del país.
- Debe tenerse en cuenta que los ensayos de campo se realizaron mientras aún se realizaban trabajos en la carretera, y están limitados al carril derecho para la sección definida inicialmente. Adicionalmente, los resultados presentados en este informe deben manejarse con precaución en el diseño de estructuras de pavimentos debido a la variabilidad observada.

APÉNDICE

DEFLEXIONES MEDIDAS EN EL SITIO

Tabla A1. Deflexiones medidas en el sitio

Estación (km)	Repetición	Esfuerzo (kPa)	Carga (kN)	D1 (mmx10 ⁻³)	D2 (mmx10 ⁻³)	D3 (mmx10 ⁻³)	D4 (mmx10 ⁻³)	D5 (mmx10 ⁻³)	D6 (mmx10 ⁻³)	D7 (mmx10 ⁻³)	D8 (mmx10 ⁻³)	D9 (mmx10 ⁻³)	Temp. Aire (°C)	Temp. Superf. (°C)
0	4	585	41.35	416.5	322.3	258.1	187.4	139.1	86.2	64.2	53.4	45.8	26.1	27.2
0	5	566	40.01	403.1	312.5	250.2	181.4	134.6	83.2	61.9	51.1	44.0	26.1	27.2
0	6	568	40.15	404.3	313.2	251.0	182.3	135.1	83.5	62.3	51.5	44.1	26.1	27.2
0.02	4	579	40.93	229.5	171.9	139.3	105.2	85.2	64.2	53.5	44.8	38.3	25.9	26.8
0.02	5	564	39.87	224.9	169.4	136.5	103.1	83.7	63.1	52.8	44.2	37.9	25.9	26.8
0.02	6	571	40.36	227.2	169.8	137.3	103.7	84.3	63.6	52.7	44.5	37.9	25.9	26.8
0.04	4	573	40.5	302.5	231.3	184.9	137.5	105.3	68.5	52.3	42.4	35.8	25.9	27.5
0.04	5	566	40.01	299.9	229.8	183.2	136.6	103.9	67.4	50.9	41.0	34.0	25.9	27.5
0.04	6	569	40.22	300.8	230.2	183.6	136.9	104.5	67.8	51.6	41.4	34.8	25.9	27.5
0.06	4	564	39.87	451.8	378.6	323.9	254.7	201.0	130.8	92.4	70.5	56.7	25.8	27.7
0.06	5	569	40.22	457.6	383.3	328.0	258.2	204.3	133.3	94.9	72.5	59.1	25.8	27.7
0.06	6	567	40.08	454.6	381.3	326.4	257.3	203.5	132.8	94.6	72.8	59.0	25.8	27.7
0.08	4	574	40.57	458.2	383.0	331.6	270.0	221.0	153.7	110.0	80.7	63.0	25.8	27.5
0.08	5	565	39.94	451.0	378.4	327.0	266.1	217.4	151.1	108.2	79.2	61.8	25.8	27.5
0.08	6	567	40.08	452.0	379.1	328.2	267.3	218.2	151.6	108.5	79.6	62.0	25.8	27.5
0.1	4	571	40.36	375.0	318.4	278.5	230.4	193.2	134.5	94.8	66.8	49.9	25.8	26.8
0.1	5	562	39.73	369.6	314.6	274.5	227.4	190.6	132.7	93.5	65.8	49.5	25.8	26.8
0.1	6	568	40.15	373.3	317.5	277.6	229.7	192.1	133.6	94.2	66.2	49.5	25.8	26.8
0.12	4	572	40.43	236.6	197.0	174.9	149.3	128.1	91.5	64.1	43.7	31.4	25.8	26.1
0.12	5	567	40.08	235.0	195.5	173.7	148.3	127.3	91.0	63.7	43.5	31.2	25.8	26.1
0.12	6	569	40.22	235.0	195.7	173.6	148.2	127.2	90.7	63.4	43.2	30.9	25.8	26.1
0.14	4	570	40.29	201.6	165.2	147.4	129.9	113.8	85.4	63.3	45.9	35.1	25.9	26.7
0.14	5	569	40.22	200.0	164.4	147.4	129.1	113.2	84.9	62.8	45.6	34.5	25.9	26.7
0.14	6	566	40.01	199.0	163.8	146.9	128.3	112.6	84.5	62.8	45.7	34.5	25.9	26.7
0.16	4	572	40.43	306.6	259.0	226.7	191.3	161.4	110.5	75.9	51.9	37.4	25.9	26.5
0.16	5	565	39.94	302.9	256.2	224.1	189.1	159.3	109.0	74.9	51.4	37.0	25.9	26.5
0.16	6	569	40.22	304.9	258.2	225.6	190.2	160.3	109.8	75.6	51.6	37.0	25.9	26.5
0.18	4	576	40.72	273.5	232.0	206.7	180.5	159.0	119.9	91.2	67.7	52.7	25.9	26.8
0.18	5	564	39.87	269.4	227.5	203.4	177.2	156.3	117.8	89.6	66.5	51.8	25.9	26.8
0.18	6	565	39.94	268.5	226.9	202.4	177.7	156.2	118.2	89.7	66.4	51.9	25.9	26.8
0.2	4	570	40.29	296.3	251.4	226.9	198.7	174.0	130.4	97.8	72.1	55.8	26.0	27.2
0.2	5	568	40.15	295.5	250.8	225.7	197.7	172.9	129.7	97.2	71.7	55.8	26.0	27.2
0.2	6	569	40.22	296.5	252.2	226.6	198.7	173.8	130.1	97.8	71.9	55.5	26.0	27.2
0.44	4	564	39.87	405.6	354.0	318.6	277.1	242.2	183.2	139.6	105.6	83.4	26.0	26.9
0.44	5	568	40.15	409.6	357.8	322.2	280.2	245.0	185.9	141.6	107.2	84.7	26.0	26.9
0.44	6	570	40.29	410.9	358.6	323.1	281.2	245.9	186.5	141.9	107.7	85.3	26.0	26.9
0.46	4	552	39.02	518.6	448.9	399.3	338.7	286.8	206.5	147.5	108.4	82.0	26.1	26.6
0.46	5	562	39.73	527.1	456.2	405.7	344.4	291.7	210.5	151.4	111.5	85.5	26.1	26.6
0.46	6	566	40.01	531.3	459.9	408.7	347.0	294.0	211.7	151.5	111.6	84.9	26.1	26.6
0.48	4	554	39.16	584.0	516.6	463.7	391.1	333.8	240.0	176.9	131.3	99.7	26.1	27.7
0.48	5	567	40.08	597.7	529.0	474.5	400.2	341.2	245.8	181.1	133.9	101.7	26.1	27.7
0.48	6	568	40.15	597.8	528.6	474.8	400.3	341.4	246.0	181.1	134.2	102.0	26.1	27.7
0.5	4	558	39.44	736.2	657.9	594.5	498.7	417.4	286.0	199.4	143.8	110.8	26.1	24.1
0.5	5	564	39.87	746.8	667.9	603.3	506.3	423.9	291.1	203.6	147.7	115.0	26.1	24.1
0.5	6	567	40.08	750.7	671.6	606.9	509.4	426.6	293.3	205.7	149.5	116.9	26.1	24.1
0.52	4	544	38.45	928.4	823.5	732.6	606.4	498.5	325.4	215.1	145.0	105.3	26.1	26.6
0.52	5	557	39.37	947.7	840.3	748.0	618.8	509.3	332.3	219.5	147.5	107.2	26.1	26.6
0.52	6	562	39.73	954.7	846.8	753.5	623.6	513.2	335.2	221.3	149.2	108.1	26.1	26.6
0.54	4	559	39.51	621.0	536.4	479.1	397.5	331.7	228.7	159.7	114.5	86.0	26.2	26.2
0.54	5	565	39.94	626.7	541.4	483.5	401.3	334.9	230.8	160.9	114.8	86.3	26.2	26.2
0.54	6	567	40.08	638.1	542.9	485.1	402.5	335.5	231.2	161.1	114.9	86.0	26.2	26.2
0.56	4	558	39.44	563.7	478.7	418.4	340.0	276.6	186.9	132.2	96.7	74.0	26.2	25.2
0.56	5	567	40.08	570.6	483.7	423.0	343.5	279.4	187.9	132.0	96.1	72.8	26.2	25.2
0.56	6	566	40.01	569.6	483.3	422.9	343.7	279.6	188.8	133.3	97.7	75.0	26.2	25.2
0.58	4	555	39.23	495.6	413.2	358.1	291.1	238.2	164.6	119.9	86.2	65.2	26.2	26.8
0.58	5	565	39.94	504.4	421.3	365.8	297.0	243.0	168.2	122.7	88.8	67.5	26.2	26.8
0.58	6	567	40.08	506.2	422.7	367.1	298.3	244.7	169.3	123.5	89.7	68.1	26.2	26.8
0.6	4	561	39.65	444.3	348.4	293.2	236.3	198.0	146.2	112.8	86.7	68.6	26.2	26.6
0.6	5	566	40.01	449.5	352.3	296.4	239.0	200.3	147.7	113.7	86.9	68.6	26.2	26.6

Tabla A1. Deflexiones medidas en el sitio (continuación)

Estación (km)	Repetición	Esfuerzo (kPa)	Carga (kN)	D1 (mmx10 ³)	D2 (mmx10 ³)	D3 (mmx10 ³)	D4 (mmx10 ³)	D5 (mmx10 ³)	D6 (mmx10 ³)	D7 (mmx10 ³)	D8 (mmx10 ³)	D9 (mmx10 ³)	Temp. Aire (°C)	Temp. Superf. (°C)
0.72	4	576	40.72	284.5	241.8	215.8	182.7	156.1	111.4	83.0	62.3	49.1	26.1	27.1
0.72	5	567	40.08	280.2	238.2	212.1	179.1	153.1	110.0	81.7	61.4	48.3	26.1	27.1
0.72	6	563	39.8	273.6	231.7	206.4	173.6	147.8	105.2	77.9	58.6	45.6	26.1	27.1
0.74	4	563	39.8	303.9	254.8	224.8	189.6	161.2	117.8	89.1	67.5	53.0	25.9	27.3
0.74	5	566	40.01	305.9	255.7	226.0	190.5	162.1	118.3	89.4	67.2	53.0	25.9	27.3
0.74	6	569	40.22	306.9	256.9	227.2	191.5	162.9	119.1	90.1	67.9	53.2	25.9	27.3
0.76	4	562	39.73	507.6	444.5	398.9	338.9	285.9	199.6	140.4	100.3	77.2	25.9	25.5
0.76	5	570	40.29	512.5	448.7	403.1	343.0	288.7	201.9	141.7	101.5	78.2	25.9	25.5
0.76	6	566	40.01	509.7	445.9	401.0	341.1	287.2	200.8	141.4	101.2	78.4	25.9	25.5
0.78	4	559	39.51	457.2	383.4	328.5	259.3	204.6	132.0	95.5	76.6	65.2	25.3	26.5
0.78	5	565	39.94	462.4	388.2	332.9	262.7	207.6	134.1	97.0	77.9	66.5	25.3	26.5
0.78	6	563	39.8	461.2	387.0	332.2	262.4	207.4	134.0	97.1	78.5	67.1	25.3	26.5
0.8	4	567	40.08	477.8	397.0	325.2	243.9	187.0	120.1	90.0	73.8	62.7	25.3	26.6
0.8	5	568	40.15	477.5	391.2	325.3	244.6	187.7	120.5	90.2	74.0	62.5	25.3	26.6
0.8	6	568	40.15	477.4	390.7	325.0	244.3	187.2	119.9	89.6	73.0	61.8	25.3	26.6
0.82	4	563	39.8	460.0	374.5	317.7	243.0	188.9	124.1	91.4	73.8	65.5	25.3	26.4
0.82	5	571	40.36	465.9	379.9	321.9	246.2	192.3	127.0	94.0	76.9	68.1	25.3	26.4
0.82	6	569	40.22	464.2	377.3	319.9	244.7	191.2	126.0	92.8	75.2	65.9	25.3	26.4
0.84	4	562	39.73	470.0	385.7	328.9	257.7	204.4	139.1	106.6	86.7	72.2	25.3	26.2
0.84	5	582	41.14	486.7	399.8	340.9	266.9	211.7	143.3	109.2	88.4	74.9	25.3	26.2
0.84	6	557	39.37	466.6	385.2	328.6	257.0	203.6	138.6	106.0	86.2	73.4	25.3	26.2
0.86	4	564	39.87	428.3	354.9	299.5	227.2	173.2	107.8	75.5	57.2	47.2	25.2	26.4
0.86	5	566	40.01	429.0	355.0	300.0	227.8	173.8	108.4	75.5	57.2	47.2	25.2	26.4
0.86	6	570	40.29	431.3	357.0	301.7	229.2	175.2	109.4	76.3	57.7	47.8	25.2	26.4
0.88	4	561	39.65	577.7	479.4	408.0	313.6	238.9	140.6	92.8	74.2	64.0	25.2	26.2
0.88	5	566	40.01	581.3	480.9	409.4	315.0	239.4	140.2	90.9	71.0	60.9	25.2	26.2
0.88	6	568	40.15	581.1	480.8	409.3	314.6	239.7	140.3	93.2	73.5	64.5	25.2	26.2
0.94	4	562	39.73	533.2	447.5	383.7	302.3	238.8	150.3	99.9	71.3	55.4	25.1	25.4
0.94	5	564	39.87	533.0	448.1	384.3	302.4	239.0	150.2	99.5	70.4	54.4	25.1	25.4
0.94	6	568	40.15	534.6	449.2	384.9	303.3	239.7	150.8	100.2	71.5	55.5	25.1	25.4
0.98	4	565	39.94	410.9	364.7	327.2	273.0	227.8	154.9	110.2	79.2	59.4	24.9	25.1
0.98	5	566	40.01	411.9	365.6	328.2	273.9	228.6	155.2	110.4	79.4	60.1	24.9	25.1
0.98	6	566	40.01	411.1	365.2	327.6	273.4	228.6	155.2	110.5	79.5	59.9	24.9	25.1
1	4	565	39.94	537.4	463.1	404.8	321.0	254.0	156.4	102.4	74.2	60.7	24.8	23.8
1	5	565	39.94	536.2	462.1	404.2	320.5	253.7	156.3	102.3	74.3	60.7	24.8	23.8
1	6	566	40.01	537.6	463.5	405.6	321.6	254.5	156.9	102.9	74.4	60.9	24.8	23.8
1.02	4	565	39.94	540.7	440.7	367.7	272.2	199.3	111.2	74.4	59.0	50.3	24.8	24.9
1.02	5	565	39.94	540.8	441.2	367.9	272.1	199.2	111.5	74.6	59.2	50.4	24.8	24.9
1.02	6	567	40.08	541.8	442.3	369.9	273.6	199.9	111.9	75.1	59.5	50.9	24.8	24.9
1.04	4	560	39.58	664.0	567.6	497.0	397.4	321.8	209.9	143.4	103.6	82.3	24.7	24.7
1.04	5	569	40.22	675.0	577.4	505.5	404.1	327.2	213.9	146.0	105.9	84.0	24.7	24.7
1.04	6	568	40.15	672.6	575.2	503.7	402.7	326.5	213.6	145.7	105.1	83.8	24.7	24.7
1.06	4	551	38.95	641.4	541.7	466.9	366.3	286.4	174.5	113.7	82.4	67.2	24.7	25.3
1.06	5	560	39.58	650.5	549.8	474.0	372.0	291.3	177.7	115.9	84.2	68.6	24.7	25.3
1.06	6	568	40.15	657.9	556.3	479.7	375.9	294.1	179.6	117.1	85.6	69.9	24.7	25.3
1.08	4	554	39.16	750.0	640.9	556.7	439.7	344.5	211.6	140.1	103.2	84.3	24.6	25.0
1.08	5	562	39.73	760.1	650.0	565.2	446.9	351.0	216.8	144.3	107.6	88.8	24.6	25.0
1.08	6	566	40.01	762.9	652.1	566.9	447.8	350.9	215.5	142.2	104.5	85.6	24.6	25.0
1.1	4	555	39.23	717.0	618.9	539.6	431.3	345.0	217.7	146.9	108.6	87.0	24.6	24.8
1.1	5	561	39.65	725.0	625.8	546.2	436.9	349.3	220.9	149.6	110.5	88.6	24.6	24.8
1.1	6	564	39.87	726.9	627.6	548.1	438.8	351.2	222.4	150.7	111.3	89.3	24.6	24.8
1.12	4	557	39.37	656.3	549.5	463.9	356.1	268.6	155.5	99.5	74.2	61.4	24.6	25.1
1.12	5	569	40.22	669.2	560.3	473.5	363.7	274.7	159.2	101.9	76.1	63.1	24.6	25.1
1.12	6	567	40.08	667.6	559.6	472.8	363.2	274.6	159.1	102.1	76.2	63.2	24.6	25.1
1.14	4	560	39.58	609.2	508.5	437.0	341.5	264.0	156.3	99.1	73.0	58.3	24.6	24.4
1.14	5	567	40.08	617.8	516.0	443.8	346.7	268.1	158.7	100.8	73.8	59.1	24.6	24.4
1.14	6	567	40.08	617.5	516.0	444.1	346.7	268.2	159.0	100.9	74.3	59.2	24.6	24.4
1.16	4	560	39.58	560.6	471.3	402.3	308.7	234.8	132.3	80.6	58.7	48.7	24.5	24.4
1.16	5	566	40.01	566.4	475.6	406.9	312.7	238.3	134.8	82.0	60.0	49.7	24.5	24.4