



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE



Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-A-005

ANÁLISIS DE DATOS DE DEFLECTOMETRÍA MEDIDOS EN LA NUEVA TERMINAL DEL AEROPUERTO DANIEL ODUBER

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Julio, 2013

Información técnica del documento

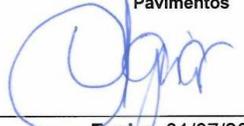
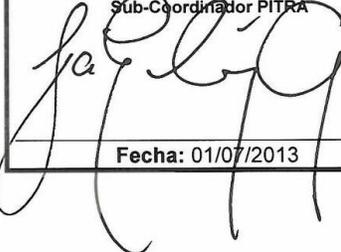
1. Informe LM-PI-UMP-A-005		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: ANÁLISIS DE DATOS DE DEFLECTOMETRÍA MEDIDOS EN LA NUEVA TERMINAL DEL AEROPUERTO DANIEL ODUBER		4. Fecha del Informe Julio, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias Corresponde a los trabajos realizados según cotización de servicios técnicos de ingeniería LM-PI-C-UMP-004-13		
9. Resumen <i>El siguiente informe de servicios técnicos de ingeniería comprende las siguientes actividades:</i> <ul style="list-style-type: none">Resultados de deflectometría de impacto (FWD) en la calle de acceso principal de la terminal al costado norte (Calle1) y en la calle de acceso a los parqueos (Calle1b), según se nombran e indican el reporte de LM-PI-UI-014-11 del LanammeUCR, medidos el 19 de Junio del 2013Análisis de datos de deflectometría medidos y retrocálculo de módulos para distintas secciones donde se midieron las deflexiones.		
10. Palabras clave Deflectometría de impacto, FWD, retrocálculo de módulos, Aeropuerto Internacional Daniel Oduber	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 17
13. Preparado por: Ing. Edgar Camacho Garita Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 01/07/2013	Ing. Melissa Rojas Jefe Laboratorio de Ensayos de Campo  Fecha: 01/07/2013	Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 01/07/2013
14. Revisado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA Sub-Coordinador PITRA  Fecha: 01/07/2013		15. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD Coordinador General PITRA  Fecha: 01/07/2013

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO	4
3. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES.....	6
3. RETROCÁLCULO DE MÓDULOS.....	11
6. OBSERVACIONES FINALES	17

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE TRAMOS EVALUADOS CON EL FWD.....	5
FIGURA 2. DEFLEXIONES MEDIDAS PARA UNA CARGA DE 40 KN.	7
FIGURA 3. RANGOS DE DEFLEXIÓN PROPUESTOS PARA DIFERENTES RANGOS DE TPD.....	8
FIGURA 4. ESQUEMA DE ESTRUCTURA USADA EN EL RETROCÁLCULO DE MÓDULOS.	12
FIGURA 5. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULO	13

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONFIGURACIÓN DE LOS GEÓFONOS EN EL FWD.....	4
TABLA 2. DEFLEXIONES MEDIDAS EN EL SITIO	6
TABLA 3. RESULTADOS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	8
TABLA 4. PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE DATOS DE DEFLEXIÓN	10
TABLA 5. RESULTADOS DE RETROCÁLCULO DE MÓDULOS PARA LAS DISTINTAS SECCIONES.....	16

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente reporte corresponde al seguimiento del análisis solicitado por la Dirección General de Aviación Civil, mediante el cual se pretende dar interpretación a los ensayos de deflectometría realizados en la calle de acceso a la terminal y el tramo de acceso a los parqueos, de la nueva Terminal del Aeropuerto Daniel Oduber que fueron realizados durante el presente año.

A continuación se analizan los datos de deflectometría y se realiza retrocálculo de módulos con el fin de determinar cuál es la resistencia de las estructuras de pavimento construidas en la nueva terminal.

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 10 metros para las rampas de acceso y salida a la Calle 1 (Calle 1 Acceso Este y Calle 1 Salida Oeste), así como para la calle de acceso al parqueo (Calle 1b). Adicionalmente, el tramo principal de la Calle 1 se midió a lo largo de los 3 carriles, con puntos de medición traslapados a cada 25 m. Todas las mediciones se realizaron utilizando un nivel de carga de 40 kN. La Figura 1 muestra el tramo

donde se realizaron las mediciones. 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.

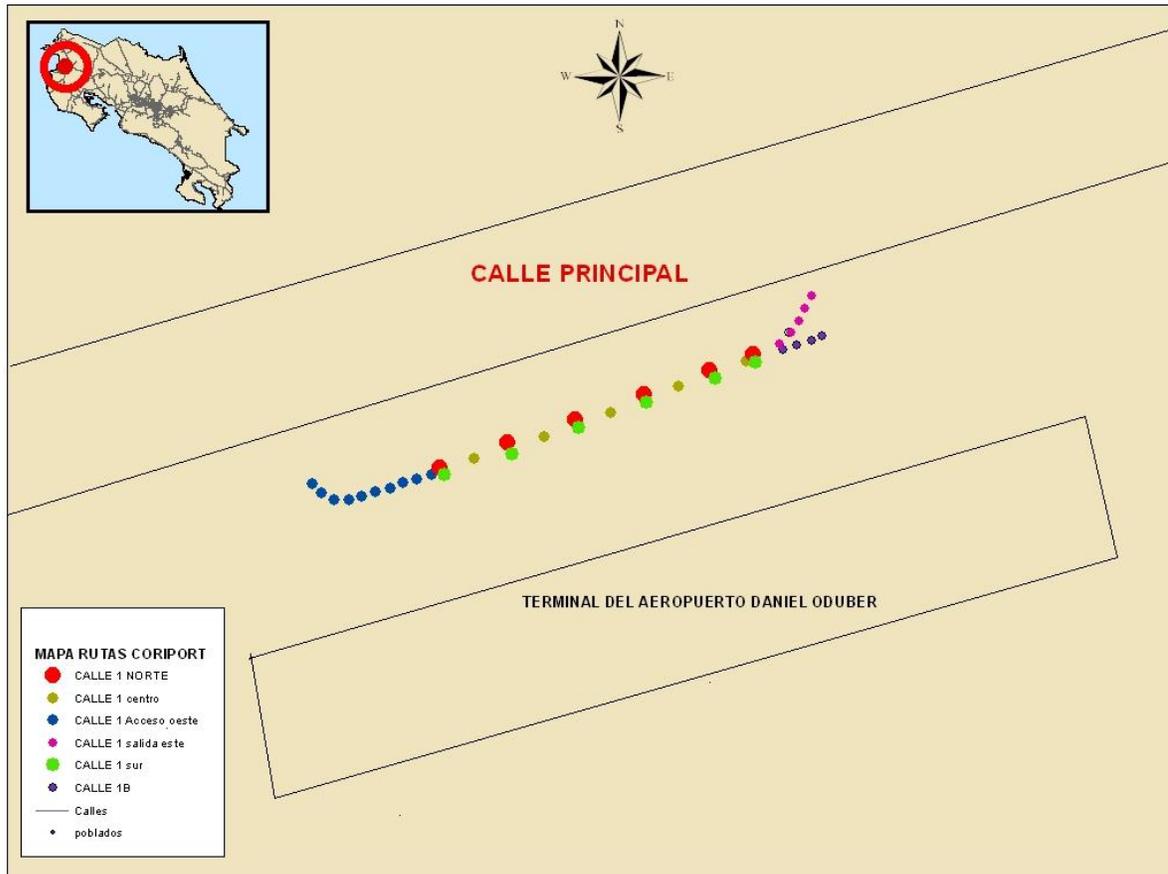


Figura 1. Ubicación de tramos evaluados con el FWD

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 con los datos de espesores obtenidos de los cielos abiertos (ej. espesores de capas cuando el cielo abierto se realizó cerca de las carreteras evaluadas con el FWD) que se realizaron por el LanammeUCR en el 2011 (Informe LanammeUCR I-1051-11).

3. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

Los resultados de las mediciones de deflexión se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Deflexiones medidas en el sitio (Referencia: Informe LanammeUCR I-0673-13)

Calle	Descripción	Estación	Localización		Temp. Pav. (°C)	Temp. Aire (°C)	Presión (KPa)	DEFLEXION								
			Latitud °Norte	Longitud °Oeste				mm * E -02								
								D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
CALLE 1	Acceso Oeste	0	10.60073	-85.53789	31.6	34.2	564.0	32.1	28.8	26.4	22.7	19.0	12.2	7.3	4.2	2.3
CALLE 1	Acceso Oeste	10	10.60067	-85.53783	32.3	34.1	569.0	86.2	67.8	52.6	34.3	22.5	9.4	4.0	2.1	1.6
CALLE 1	Acceso Oeste	20	10.60063	-85.53775	32.3	34.1	561.0	72.3	54.5	41.7	27.8	19.5	11.2	7.0	4.6	3.0
CALLE 1	Acceso Oeste	30	10.60063	-85.53766	32.9	34.0	559.0	77.5	54.8	38.9	24.8	17.6	10.7	7.1	4.7	3.3
CALLE 1	Acceso Oeste	40	10.60065	-85.53758	32.8	34.0	566.0	37.2	29.0	24.6	19.6	15.8	10.1	6.5	4.2	3.0
CALLE 1	Acceso Oeste	50	10.60068	-85.53749	31.4	33.9	567.0	29.8	21.0	17.1	12.8	9.4	5.4	3.5	2.3	1.5
CALLE 1	Acceso Oeste	60	10.60070	-85.53740	32.6	33.9	566.0	37.3	28.4	22.6	17.3	13.7	8.8	5.9	4.0	3.0
CALLE 1	Acceso Oeste	70	10.60074	-85.53732	32.8	33.8	566.0	51.3	41.0	33.1	24.2	18.0	11.3	7.6	5.4	4.1
CALLE 1	Acceso Oeste	80	10.60076	-85.53723	32.8	33.7	567.0	27.1	22.5	18.9	14.4	11.2	7.3	5.3	4.0	3.1
CALLE 1	Acceso Oeste	90	10.60079	-85.53714	32.9	33.6	564.0	30.9	24.6	20.6	15.8	12.4	8.0	5.5	4.0	3.1
CALLE 1	Salida Este	0	10.60162	-85.53494	33.2	33.6	566.0	103.2	80.1	60.4	38.8	25.2	11.5	6.9	4.9	3.7
CALLE 1	Salida Este	10	10.60169	-85.53488	32.5	33.2	564.0	27.2	20.5	17.8	15.0	12.6	8.2	5.2	3.1	1.9
CALLE 1	Salida Este	20	10.60176	-85.53482	33.1	33.5	565.0	30.6	24.7	20.7	17.0	13.9	9.2	6.0	3.7	2.3
CALLE 1	Salida Este	30	10.60184	-85.53478	32.8	33.4	564.0	75.5	61.1	48.1	32.3	21.5	9.5	4.9	2.7	1.4
CALLE 1	Salida Este	40	10.60192	-85.53474	32.8	33.4	565.0	27.6	24.1	21.4	17.7	14.7	9.6	6.5	4.7	3.2
CALLE 1B	Calle 1 B	0	10.60158	-85.53492	32.8	34.1	565.0	37.3	30.1	25.8	21.1	16.9	10.5	6.5	4.1	2.8
CALLE 1B	Calle 1 B	10	10.60161	-85.53483	32.6	34.1	565.0	87.6	61.5	45.0	29.9	20.8	11.3	6.3	3.5	2.4
CALLE 1B	Calle 1 B	20	10.60164	-85.53474	32.6	34.0	567.0	104.6	73.9	51.1	32.5	22.2	11.8	7.0	4.3	2.9
CALLE 1B	Calle 1 B	29	10.60167	-85.53467	32.9	33.9	567.0	86.2	62.6	48.0	32.8	21.6	10.2	5.6	3.3	2.3
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	0	10.60083	-85.53709	30.5	34.2	567.0	47.1	35.6	28.7	21.4	16.3	9.7	6.1	4.0	3.0
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	50	10.60099	-85.53666	32.5	34.2	566.0	29.1	24.8	21.0	17.2	13.8	8.9	5.8	3.8	2.8
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	100	10.60114	-85.53623	32.6	34.2	561.0	83.0	56.6	44.2	30.7	21.0	10.4	5.9	3.6	3.0
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	150	10.60130	-85.53580	32.6	34.3	567.0	32.5	24.4	20.3	16.4	13.2	8.7	5.6	3.9	2.8
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	200	10.60145	-85.53538	32.5	34.3	567.0	31.2	23.8	19.7	15.2	11.7	7.1	4.6	3.1	2.3
CALLE 1	Al Norte (carril externo)	231	10.60155	-85.53511	32.8	34.2	567.0	52.7	41.7	32.5	22.5	15.9	9.0	5.6	3.8	2.7
CALLE 1	Carril del Centro	0	10.60089	-85.53687	32.6	33.8	563.0	26.0	18.4	15.2	12.3	10.0	7.0	5.2	3.9	3.2
CALLE 1	Carril del Centro	50	10.60103	-85.53643	32.7	33.8	565.0	56.1	47.1	37.1	27.2	20.7	12.0	7.3	5.1	4.0
CALLE 1	Carril del Centro	100	10.60118	-85.53601	32.7	33.8	568.0	42.8	33.0	26.2	19.9	15.9	10.4	7.2	5.3	4.2
CALLE 1	Carril del Centro	150	10.60135	-85.53558	32.6	33.9	566.0	26.1	23.0	20.8	17.8	14.9	10.5	7.2	5.1	3.7
CALLE 1	Carril del Centro	200	10.60151	-85.53515	32.4	33.9	565.0	46.6	36.8	30.1	23.6	18.5	11.6	7.5	4.8	3.3
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	0	10.60079	-85.53706	33.0	33.5	568.0	43.8	36.1	29.8	23.0	18.0	11.6	7.9	5.7	4.3
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	50	10.60092	-85.53663	33.4	33.4	563.0	23.7	19.6	17.1	14.7	12.7	9.4	6.9	5.0	3.7
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	100	10.60109	-85.53621	33.2	33.5	571.0	42.4	33.7	27.2	21.3	16.8	10.4	6.9	4.7	3.6
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	150	10.60125	-85.53578	33.3	33.4	568.0	32.7	26.0	22.2	18.2	15.0	10.0	6.9	4.8	3.6
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	200	10.60140	-85.53535	32.3	33.4	566.0	33.3	25.1	21.2	17.0	14.1	9.6	6.5	4.4	3.2
CALLE 1	Al Sur (carril cercano a la Terminal)	230	10.60150	-85.53509	32.5	33.5	568.0	57.7	42.1	33.6	25.6	19.8	12.4	8.0	5.2	3.5

La Figura 2 muestra los resultados de ensayo para la carga de 40 kN, para las deflexiones medidas en los 9 sensores por cada estación. Se observan deflexiones menores en los carriles central y sur de la Calle 1. La tendencia del carril norte de la Calle 1 es similar a las anteriores, pero se presenta un punto donde las deflexiones prácticamente se duplican (estacionamiento 100).

Las deflexiones son considerablemente superiores en los accesos a la Calle 1: Acceso Oeste y Salida Este. Lo mismo fue el caso con la calle de acceso al parqueo (Calle 1b). Todo lo anterior es consistente con las observaciones realizadas en el informe LM-PI-UI-014-11. No obstante, los resultados no pueden ser comparados directamente pues las mediciones fueron realizadas en momentos del día muy distintos: la temperatura superficial del pavimento fue en promedio 22,7 °C menor que la temperatura del pavimento cuando las mediciones se realizaron en el 2011. El efecto de la temperatura se considerará mediante el factor de corrección de la temperatura en el retrocálculo de módulos.

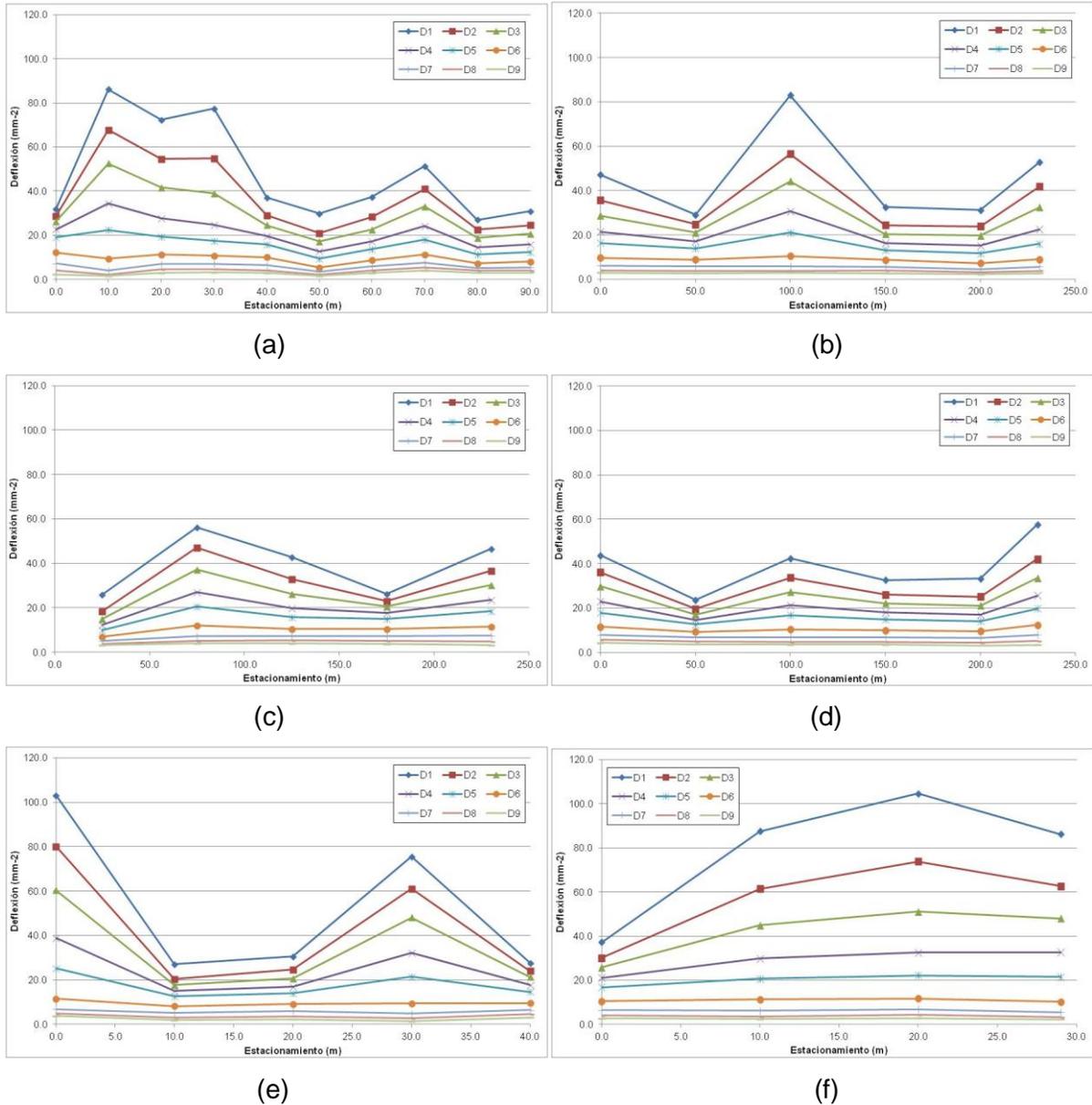


Figura 2. Deflexiones medidas para una carga de 40 kN en (a) Calle 1 Acceso Oeste, (b) Calle 1-Carril Norte, (c) Calle 1-Carril Central, (d) Calle 1-Carril Sur, (e) Calle 1 Salida Oeste y (f) Calle 1b.

La Tabla 3 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 alcanzando valores de hasta el 50% 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.

Tabla 3. Resultados de Estadística Descriptiva

Sensor	Promedio	Des. Est.	COV	Mínimo	Máximo
D1	49,1	24,0	48,8%	104,6	23,7
D2	37,7	17,1	45,3%	80,1	18,4
D3	30,0	11,9	39,7%	60,4	15,2
D4	22,1	6,8	30,7%	38,8	12,3
D5	16,6	3,9	23,4%	25,2	9,4
D6	9,9	1,6	16,4%	12,4	5,4
D7	6,3	1,1	17,0%	8,0	3,5
D8	4,2	0,9	20,7%	5,7	2,1
D9	3,0	0,7	24,3%	4,3	1,4

Con referencia a un estudio previo que realizó el LanammeUCR (UI-PE-03-08) en cuanto a las deflexiones a esperar en una estructura que consiste una capa asfáltica, una base estabilizada, una sub-base granular y la subrasante. Como parte de dicho estudio, se generó la siguiente figura:

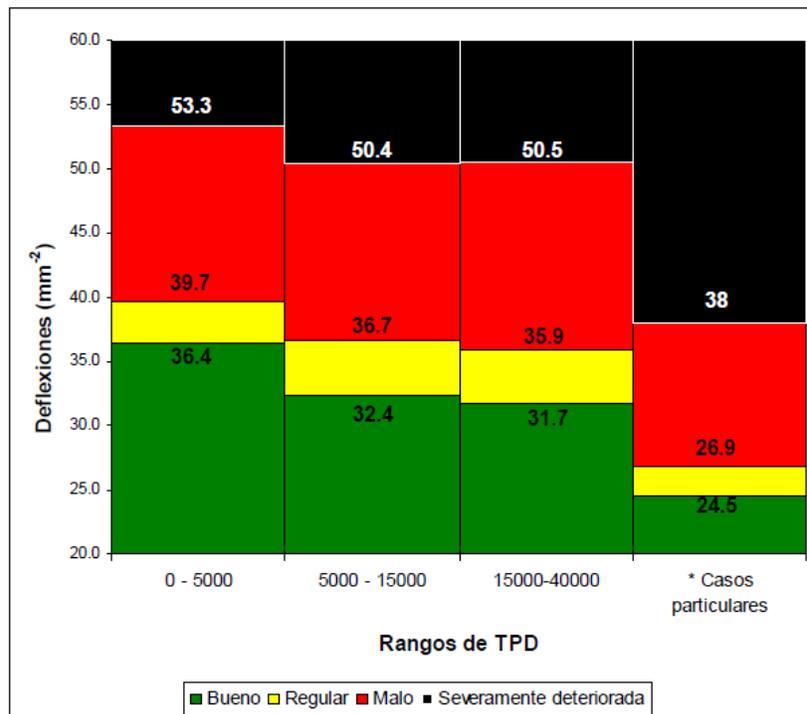


Figura 3. Rangos de deflexión (D1) en mm x 10⁻⁰² propuestos para diferentes rangos de TPD, para estructuras con base estabilizada con cemento hidráulico (Referencia: Informe LanammeUCR UI-PE-03-08).

Bajo el entendido de que el nivel de tránsito al que estará sujeta la estructura del pavimento corresponde al rango bajo (0 – 5000 vehículos diarios), las deflexiones bajo el plato de carga del FWD deberían ser menores a $364 \text{ mm} \times 10^{-03}$ para considerar la estructura en buen estado y menores a $397 \text{ mm} \times 10^{-03}$ para considerar la estructura como regular. No obstante, tanto de la Tabla 2, como de la Figura 2, podemos observar que el 51% de las mediciones realizadas indican que la estructura evaluada con el FWD está en una condición estructural mala o muy mala. Nótese que los rangos definidos en la Figura 3 son generales y por tanto no necesariamente indican que la estructura está severamente deteriorada, pero si ayudan a verificar que la capacidad estructural del pavimento es deficiente en la mayoría de los puntos evaluados.

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 D_1 . 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 para la Calle 1, se puede determinar que el promedio del parámetro ÁREA varía en un rango entre los 389 mm y 632 mm. Nótese que en general se establece que un pavimento semi-rígido presenta

Informe LM-PI-UMP-A-005	Fecha de emisión: 01 de julio de 2013	Página 9 de 17
-------------------------	---------------------------------------	----------------

valores de ÁREA entre 600 y 710 mm^{2a}. Los valores observados son menores a este rango, por lo que según el criterio de ÁREA, la estructura del pavimento debería corresponder con la de un pavimento flexible delgado (menor a 10 cm de capa asfáltica), o a un pavimento semirígido de baja capacidad o deteriorado.

Tabla 4. Parámetros de caracterización de datos de deflexión

Sección	ÁREA (mm)	BCI (mmx10 ⁻³)	BDI (mmx10 ⁻³)	SCI (mmx10 ⁻³)
Calle 1 - Acceso Oeste	483,0 (68,6)	64,6 (27,3)	137,4 (81,0)	185,1 (115,6)
Calle 1 - Carril Norte	477,2 (50,3)	63,5 (23,2)	124,0 (64,7)	181,9 (110,4)
Calle 1 - Carril Central	514,9 (59,3)	57,0 (21,9)	98,7 (46,2)	136,4 (55,1)
Calle 1 - Carril Sur	518,6 (42,5)	55,1 (14,8)	91,1 (35,2)	137,3 (59,0)
Calle 1 - Salida Este	503,9 (72,1)	79,8 (44,9)	160,9 (138,7)	191,4 (155,8)
Calle 1b	429,3 (72,1)	94,2 (21,7)	221,0 (90,1)	364,5 (178,2)

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

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:

$$BCI = D_5 - D_6 \quad Ec. 2$$

$$BDI = D_3 - D_5 \quad Ec. 3$$

$$SCI = D_1 - D_3 \quad Ec. 4$$

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 135x10⁻³ mm).

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

^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 5 2 0 Number 2.

Finalmente, el parámetro SCI^b 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 el promedio de dicho indicador varía de $136,4 \times 10^{-3}$ mm a $364,5 \times 10^{-3}$ mm, con desviaciones de hasta $178,2 \times 10^{-3}$ 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, en promedio ninguna de las secciones supera este valor de 400. No obstante, individualmente si se presentan puntos donde esto ocurre en la Calle 1 - Salida Este y la Calle 1b. Adicionalmente, la Calle 1 - Acceso Oeste y la Calle 1 - Carril Norte presentan valores muy cercanos a los 400.

3. RETROCÁLCULO DE MÓDULOS

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 + relleno de 50 cm, base estabilizada y carpeta asfáltica. Los espesores de la carpeta asfáltica de la base estabilizada son diferentes para la Calle 1 y la Calle 1b, y por tanto se modelaron separadamente. Las estructuras supuestas se muestra en la Figura 6 (las mismas se basan en los puntos de sondeo más cercanos realizados como parte del Informe LanammeUCR I-1051-11).

Dadas las dimensiones de la estructura, y las limitaciones asociadas a la técnica del retrocálculo, fue necesario fijar el módulo de la capa asfáltica. Se supuso que dicha capa tiene un módulo de 3800 MPa a 25°C. Esto para ser consistente con lo indicado el informe LM-PI-UI-014-11 y los resultados de estabilidad Marshall tomados del control y verificación de la calidad (1360 kg).

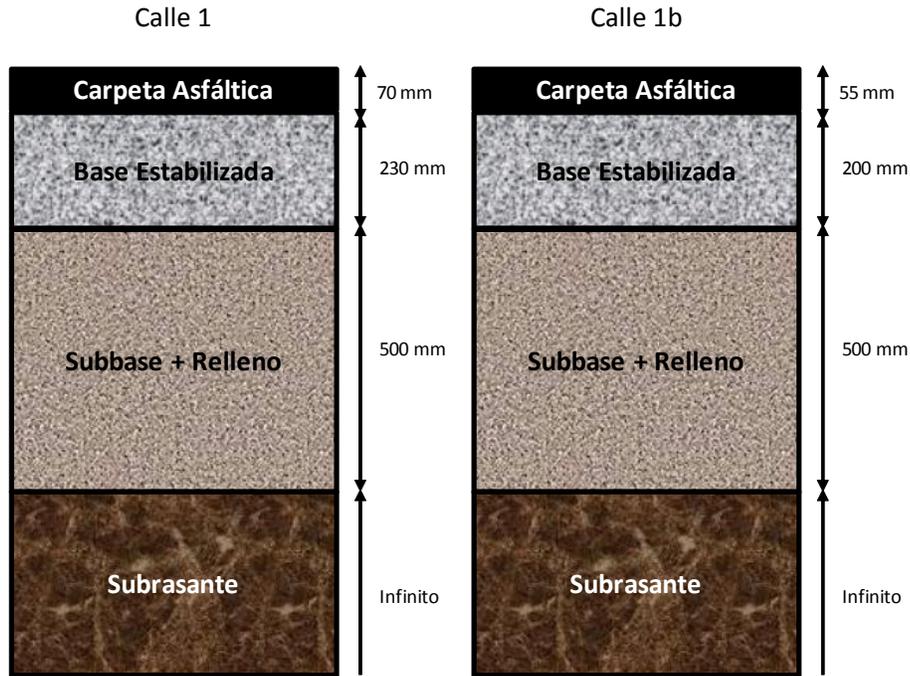
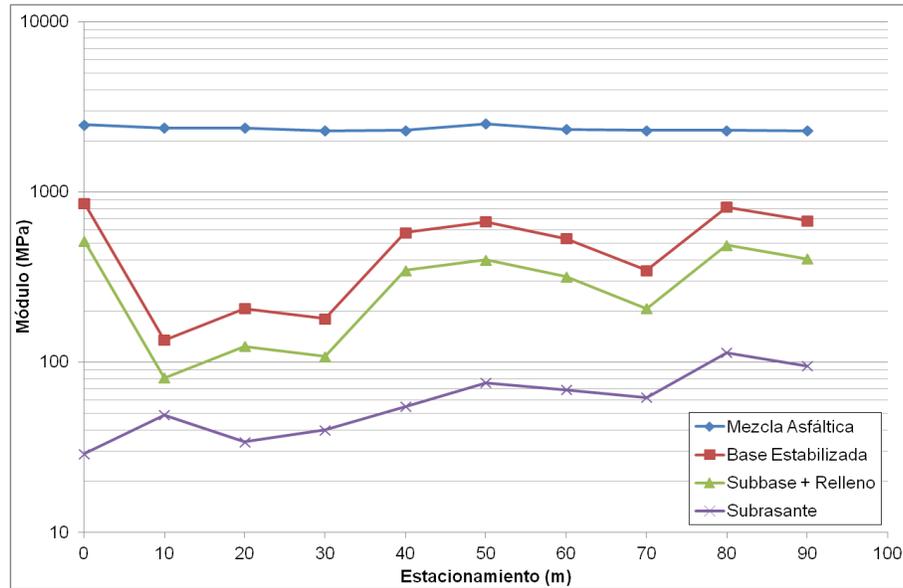


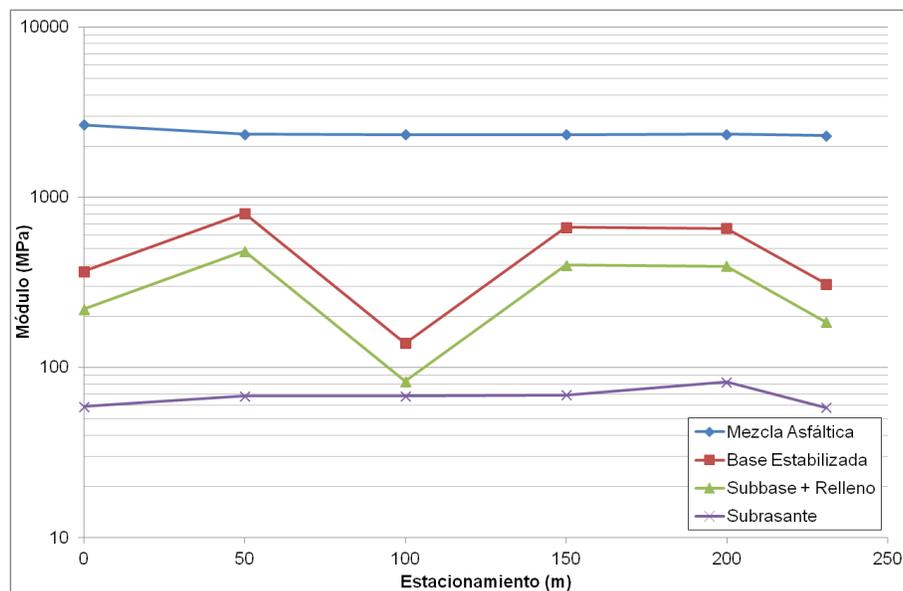
Figura 4. Esquema de estructura usada en el retrocálculo de módulos.

La Figura 5 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.

Nótese que el módulo de la capa asfáltica es en promedio 2335,2 MPa. Esto se debe a que el módulo que se fijó inicialmente a 3800 MPa es para una temperatura de 25°C, pero dado que la mezcla asfáltica es un material visco-elástico, cuyas propiedades cambian con la temperatura, se realizó un ajuste del módulo del material para corregirlo por la temperatura del ambiente. De tal forma, podemos observar que las distintas secciones los módulos de la capa asfáltica variaron en un rango entre 2220,0 MPa y 2672,0 MPa (a mayor temperatura se reduce la rigidez de la mezcla asfáltica).

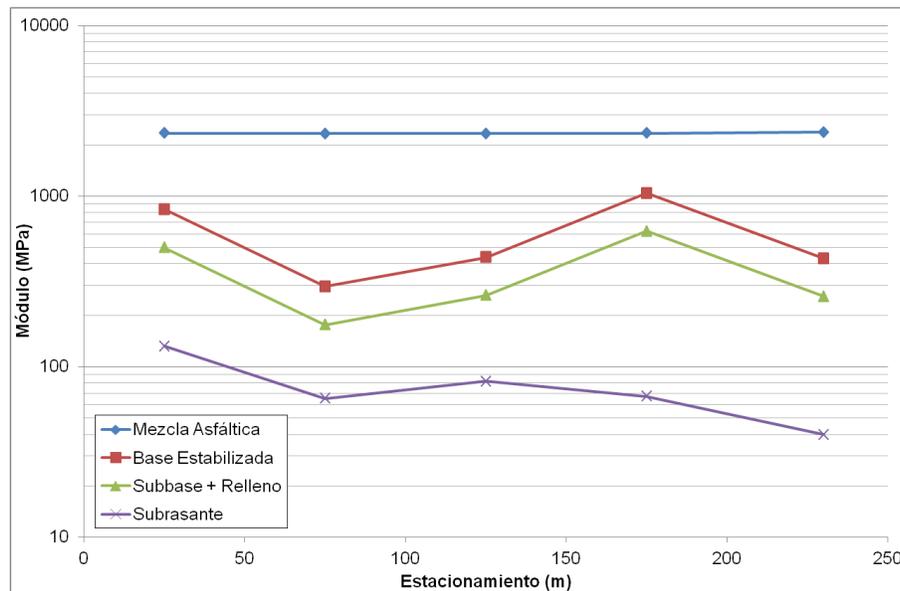


(a)

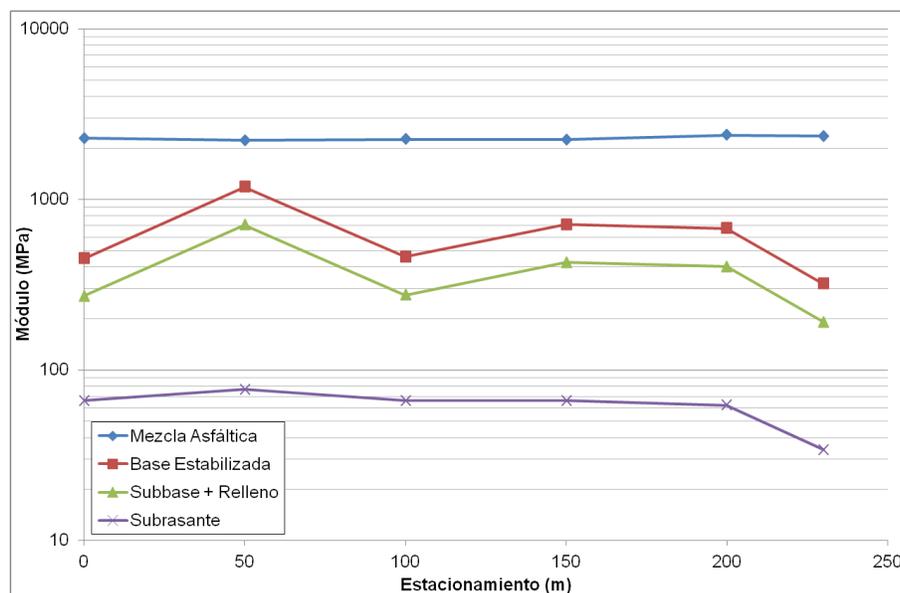


(b)

Figura 5. Resultados de retrocálculo de módulo para (a) Calle 1 Acceso Oeste y (b) Calle 1-Carril Norte

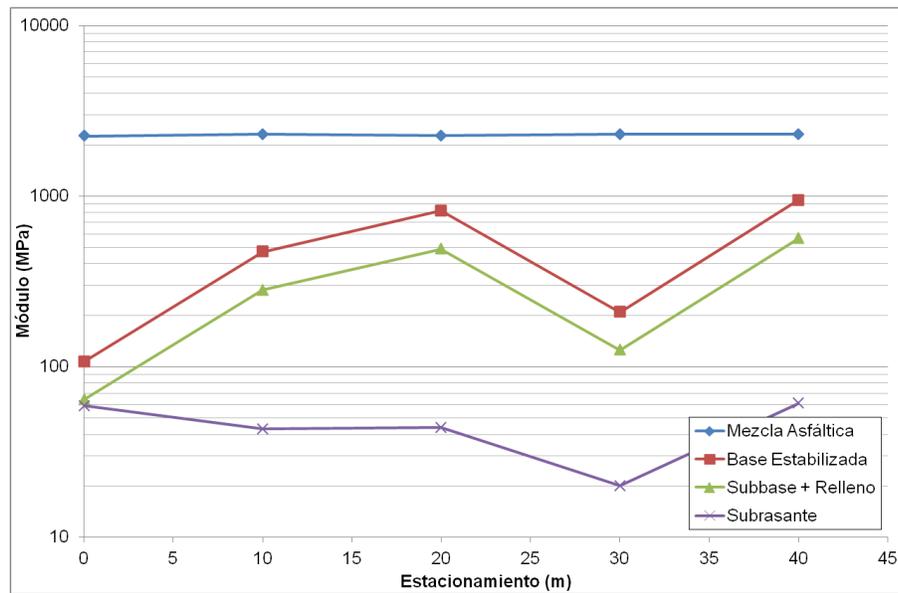


(c)

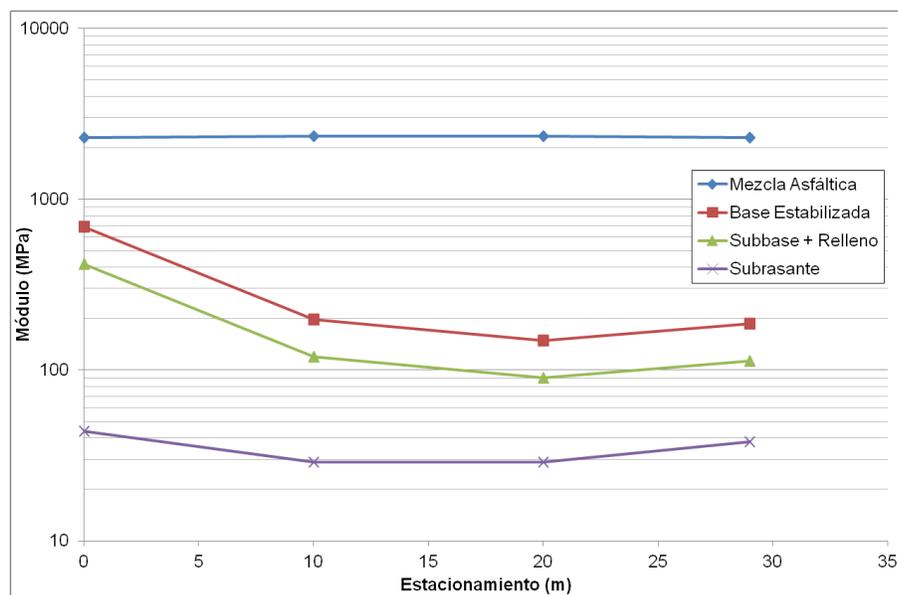


(d)

Figura 4 (cont.). Resultados de retrocálculo de módulo para (c) Calle 1-Carril Central y (d) Calle 1-Carril Sur.



(e)



(f)

Figura 4 (cont.). Resultados de retrocálculo de módulo para (e) Calle 1 Salida Oeste y (f) Calle 1b.

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

Sección	Capa Asfáltica (MPa)	Base Estabilizada (MPa)	Subbase + Relleno (MPa)	Subrasante (MPa)
Calle 1 - Acceso Oeste	2361,9 (83,6)	500,4 (267,4)	299,5 (159,9)	62,3 (27,1)
Calle 1 - Carril Norte	2392,2 (138,0)	490,7 (256,6)	293,7 (153,7)	67,3 (8,7)
Calle 1 - Carril Central	2336,0 (18,4)	607,2 (314,4)	363,4 (188,3)	77,2 (34,1)
Calle 1 - Carril Sur	2285,3 (66,4)	633,0 (306,8)	379,0 (183,9)	61,8 (14,5)
Calle 1 - Salida Este	2286,4 (28,7)	509,8 (366,7)	305,2 (219,6)	45,4 (16,4)
Calle 1b	2317,8 (21,9)	306,0 (257,5)	185,5 (156,2)	35,0 (7,3)

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

Al igual que se indicó en el informe LM-PI-UI-014-11, el módulo de la base estabilizada es de especial interés. Se puede generalizar que el módulo de dicha capa es en promedio 515,4 MPa. Esto es considerablemente bajo para una capa de base estabilizada, para la cual se esperan módulos en el orden de 3000 a 4000 MPa. Adicionalmente, existe gran variabilidad en las propiedades de la capa pues los módulos varían de 107,0 MPa hasta 1182,0 MPa. Esto corresponde a un coeficiente de variación (COV) de aproximadamente el 56%. Esto es consistente con lo observado en el informe anterior y es probable que dicha base estabilizada no cumpla con la especificación asociada a una base estabilizada BE-25.

Finalmente, los módulos promedio de las capas de subbase + relleno y de la subrasante se apegan de mejor manera a lo que se esperaría de este tipo de materiales. Sin embargo, la variabilidad en los módulos para ambas capas se considera excesiva. Para el caso de la capa de subbase + relleno el coeficiente de variación (COV) es de 56%, igual al de la capa de base estabilizada. Esto es evidente cuando se estiman módulos de la capa que oscilan entre 286,9 MPa y 515,4 MPa. De manera similar, el coeficiente de variación asociado al módulo de la subrasante es de 39,4%.

6. OBSERVACIONES FINALES

- En la vía principal (Calle 1), se pueden observar dos condiciones estructurales.
 - En los accesos se puede observar una gran variabilidad en las deflexiones medidas y en los módulos de los materiales. Esto está asociada a variabilidad en los espesores de capas o en las propiedades de los materiales.
 - En el resto de la estructura, y con excepción del Carril Norte, se presenta un menor grado de variabilidad. No obstante, la capacidad de soporte es inferior a la que se esperaría de este tipo de estructura.
- La vía que permite acceso al parqueo desde la vía principal (Calle 1b) muestra deflexiones muy elevadas, mostrando una condición estructural inferior a la que presenta el resto de la Calle 1.
 - En general, del retrocálculo se observan valores de módulo inferiores a los observados en la Calle 1 para todas las capas. Esto se traduce a menor capacidad estructural.
 - Los indicadores con base en las deflexiones indican potenciales deficiencias estructurales a nivel de superficie y a nivel de capas de soporte.