

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

A large, faint watermark of the University of Costa Rica seal is centered in the background. The seal is circular and features a sunburst at the top, a landscape with a river and hills in the middle, and a plant at the bottom. The text "UNIVERSIDAD DE COSTA RICA" is arched across the top, and "LUCEM ASPICIO" is arched across the bottom.

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
PROYECTO TÁRCOLES - JACÓ - LOMA**

Noviembre 2004

**Ing. Mario Arce
Ing. Tracy Gutiérrez
Ing. Fabricio Leiva**

122

INDICE

	Página
1. Introducción.....	1
2. Objetivo.....	1
3. Alcance.....	1
4. Descripción del proyecto.....	1
5. Retrocálculo de módulos.....	2
6. Coeficientes estructurales.....	8
7. Resumen de Resultados.....	9
8. Anexos.....	11



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PROYECTO TÁRCOLES - JACÓ - LOMA

1. INTRODUCCION

En atención a la solicitud presentada por parte de la Dirección Ejecutiva de CONAVI (oficio DE04-3568), para la evaluación de la capacidad estructural de la carretera Tárcoles-Jacó y Jacó-Loma, se procedió a realizar un análisis estructural a partir de los datos de los materiales constitutivos del pavimento y espesores de capa suministrados por el Ingeniero del CONAVI Alvaro Ulloa y de los resultados de deflectometría obtenidos por el LANAMME en diciembre del 2003 con el equipo DYNATEST 8081 (FWD).

2. OBJETIVO

Realizar un análisis de la capacidad estructural del pavimento existente, aplicando la metodología de retrocálculo de módulos.

3. ALCANCE

El análisis de capacidad estructural se hizo por retrocálculo de módulos, aplicando un modelo multicapa-elástico. Para esto se usó el programa EVERCALC, desarrollado en la Universidad del Estado de Washington. A partir de los módulos retrocalculados, de los espesores de capa y de los respectivos módulos de Poisson, se obtiene la capacidad estructural del pavimento. El análisis se hizo para las condiciones de humedad y temperatura de los materiales del pavimento, al momento de realizar las mediciones con el FWD.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La carretera objeto de estudio corresponde a un tramo de 28 km de la ruta nacional No. 34 (Tárcoles - Jacó - Loma), que inicia en el puente sobre el río Tárcoles en la estación 11+600, y finaliza en la estación 39+600 (según el estacionamiento del informe de deflectometría de impacto realizado

por el LANAMME). La configuración de la estructura de pavimento se presenta en la Tabla 1.

Tabla N°1: Materiales y espesores del pavimento

Material	Espesor
Capa asfáltica	10 cm
Base estabilizada	20 cm
Sub-base mejorada	25 cm
Sub-base granular	20 cm

Fuente: información aportada por el CONAVI

En todos los tramos analizados, al no indicarse la existencia de una capa rígida a una profundidad menor a 3 m por debajo del nivel de subrasante, se asume que a partir de dicho nivel y con una profundidad mayor o igual a 3 m, subyace la capa de suelo de subrasante.

5. RETROCÁLCULO DE MÓDULOS

Como primer paso se procedió a la separación de la vía en tramos homogéneos utilizando el programa SPEC, para un nivel de confianza del 95%, considerando para ello la deflexión media de los sensores No1 y No2, simultáneamente con la media de los sensores No7 y No8, esto con el objeto de obtener tramos que presentaran condiciones homogéneas tanto para las capas superiores como para las inferiores. A partir de este análisis se separó la carretera en 9 tramos de los cuales se excluyeron los valores extremos que estadísticamente mostraban valores fuera del patrón típico de deflexiones de cada tramo, con lo cual se logró una dispersión muy baja de los datos en cada caso (ver Anexo A).

En el caso de los subtramos o puntos no incluidos en los tramos homogéneos, por ser estos valores extremos que se salen del patrón de deflexiones del resto del tramo, se requiere realizar una nueva evaluación con el deflectómetro de impacto, con una separación de mediciones cada 50 m o menos, para así poder determinar la condición estructural en dichas secciones de la carretera. En la Tabla N°2 se indican las estaciones que no fueron consideradas en este análisis.

Según se indicó, para el retrocálculo de módulos se utilizó el programa EVERCALC desarrollado por la Universidad del Estado de Washington. En el Anexo B se presentan las curvas de deformación (deflexiones) medidas en el campo así como los respectivos valores obtenidos por el retrocálculo.

Para cada uno de los nueve tramos homogéneos previamente definidos, se hizo el análisis de retrocálculo, a partir de los valores de deflexión media de cada uno de los sensores, ajustando la deformación calculada a la deformación medida en el campo, haciendo uso de un modelo multicapa elástico. Este análisis se hizo, considerando las siguientes condiciones:

- *magnitud de la carga de impacto: 40 KN (9000 lb).*
- *periodo de duración de la carga: 25 a 35 milisegundos.*
- *capas constitutivas del pavimento: con base en la información suministrada por el CONAVI, se usó el siguiente arreglo estructural para todos los tramos de la carretera:*

capa asfáltica: 10.0 cm

capa de base estabilizada: 20.0 cm

capa de subbase mejorada: 25.0 cm

capa de subbase granular: 20.0 cm

- *condiciones ambientales: la temperatura y humedad de los materiales del pavimento al momento de realizar las mediciones con el FWD.*

En la Tabla N°2 se detallan los tramos homogéneos analizados. De igual forma, en la Tabla N°3 se muestran los valores de deflexión promedio, obtenidos con el FWD, para cada uno de los tramos y en cada uno de los sensores, y en el Anexo A se presenta en detalle cada una de las mediciones realizadas en cada tramo, así como la media y la desviación estándar para cada caso.

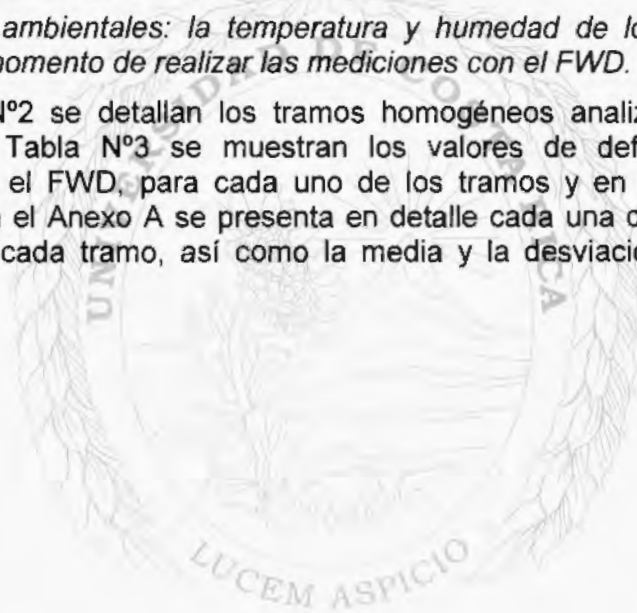


Tabla N°2: Descripción de tramos homogéneos.

Tramo	Ubicación (estacionamiento)	Observaciones
1	11+600 – 14+600	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 14+800, 15+200.
2	15+200 – 16+600	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 16+800, 17+000, 17+200.
3	17+400 – 19+000	-
4	19+200 – 20+600	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 20+000, 20+800, 21+000.
5	21+200 – 23+600	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 22+200, 22+600, 23+800, 24+000, 24+200.
6	24+400 – 26+200	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 25+000, 26+400.
7	26+600 – 33+000	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 27+800, 29+800.
8	33+200 – 36+200	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 33+600, 33+800, 36+400
9	36+600 – 39+600	No se incluyen las deformaciones en las estaciones: 37+200, 38+000.

Nota: Los datos de deflexión de estas estaciones no se incluyen porque sus valores están estadísticamente fuera del patrón de deformaciones de los tramos analizados.

Tabla N°3: Deflexiones promedio para cada tramo

Tramo	Deflexión promedio en cada sensor (mm ⁰²)								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	8.81	7.14	6.53	5.73	5.18	4.18	3.44	2.82	2.33
2	7.15	5.16	4.62	4.17	3.52	2.63	2.00	1.55	1.27
3	11.53	8.91	7.26	5.88	4.86	3.41	2.46	1.79	1.42
4	8.50	6.26	5.84	4.99	4.39	3.34	2.65	2.13	1.70
5	12.87	8.79	7.72	7.10	6.27	4.85	3.93	3.20	2.67
6	8.24	5.80	5.20	4.37	3.65	2.55	1.81	1.29	1.01
7	10.86	7.59	6.69	5.93	5.18	3.89	3.01	2.35	1.93
8	8.91	6.09	5.14	4.50	4.08	3.36	2.86	2.45	2.11
9	11.18	7.91	6.81	6.06	5.29	4.00	3.22	2.52	2.12

Los resultados obtenidos en este análisis se muestran en las Tablas N°4 y N°5. En la primera se detalla el valor de deformaciones obtenido a partir del ensayo de deflectometría, comparado con las deflexiones retrocalculadas (se indica además la diferencia entre ambos valores). En la segunda tabla se presentan los valores de los módulos retrocalculados.

En el Gráfico N°1 se presenta la curva de ajuste de las deflexiones medidas y las retrocalculadas, para el Tramo N°1. Los respectivos gráficos de los restantes ocho tramos se presentan en el Anexo B.

Como se puede observar, los valores de deflexiones retrocalculadas y medidas en el campo, prácticamente definen una misma curva (muy buen ajuste), no obstante, estos valores retrocalculados se pueden ver afectados por: la presencia de una capa rígida (capa de roca) a una profundidad de menos de 3.0 m medida a partir del nivel de la subrasante, el nivel freático alto, variaciones en los espesores reales de las capas del pavimento, variaciones de temperatura en la capa asfáltica o cambios de humedad en la subrasante o en las capas granulares. Esta incertidumbre se aprecia por ejemplo en el valor de módulo obtenido para la subbase granular en el Tramo N°8, o en el valor de módulo de la subrasante en el Tramo N°5.



Tabla N°4: Deformaciones medidas y retrocalculadas (mm⁻⁰²)

Tramo	Deflexión	Sensor								
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	medida	8.813	7.139	6.526	5.729	5.184	4.182	3.444	2.816	2.329
	calculada	8.778	7.069	6.507	5.839	5.235	4.219	3.429	2.819	2.352
	diferencia	0.034	0.070	0.019	0.110	0.051	0.037	0.015	0.003	0.023
2	medida	7.150	5.161	4.624	4.166	3.515	2.625	1.998	1.549	1.269
	calculada	7.165	5.194	4.684	4.077	3.528	2.639	2.007	1.567	1.262
	diferencia	0.015	0.033	0.060	0.089	0.013	0.014	0.010	0.018	0.007
3	medida	11.528	8.913	7.264	5.880	4.863	3.407	2.461	1.789	1.422
	calculada	11.582	8.804	7.381	5.916	4.864	3.391	2.438	1.821	1.420
	diferencia	0.054	0.109	0.117	0.036	0.001	0.016	0.023	0.032	0.002
4	medida	8.500	6.259	5.844	4.987	4.389	3.337	2.649	2.134	1.704
	calculada	8.496	6.319	5.728	5.027	4.394	3.373	2.634	2.103	1.722
	diferencia	0.004	0.060	0.116	0.040	0.005	0.036	0.015	0.031	0.018
5	medida	12.871	8.785	7.715	7.095	6.268	4.849	3.930	3.195	2.672
	calculada	12.876	8.720	7.890	6.998	6.201	4.905	3.933	3.206	2.659
	diferencia	0.005	0.065	0.175	0.097	0.067	0.056	0.003	0.011	0.013
6	medida	8.239	5.802	5.196	4.366	3.654	2.548	1.813	1.294	1.014
	calculada	8.219	5.856	5.198	4.389	3.660	2.525	1.777	1.308	1.018
	diferencia	0.020	0.054	0.002	0.023	0.006	0.023	0.036	0.014	0.004
7	medida	10.862	7.587	6.692	5.931	5.177	3.893	3.015	2.354	1.932
	calculada	10.864	7.559	6.759	5.893	5.131	3.901	3.010	2.372	1.918
	diferencia	0.002	0.028	0.067	0.038	0.046	0.008	0.005	0.018	0.014
8	medida	8.912	6.090	5.138	4.496	4.080	3.365	2.858	2.451	2.114
	calculada	8.984	6.010	5.174	4.524	4.079	3.411	2.885	2.454	2.101
	diferencia	0.072	0.080	0.036	0.028	0.001	0.046	0.027	0.003	0.013
9	medida	11.176	7.906	6.811	6.058	5.290	4.001	3.216	2.524	2.124
	calculada	11.181	7.844	6.932	6.005	5.240	4.046	3.186	2.560	2.106
	diferencia	0.005	0.062	0.121	0.053	0.050	0.045	0.030	0.036	0.018

Tabla N°5: Módulos retrocalculados (MPa)

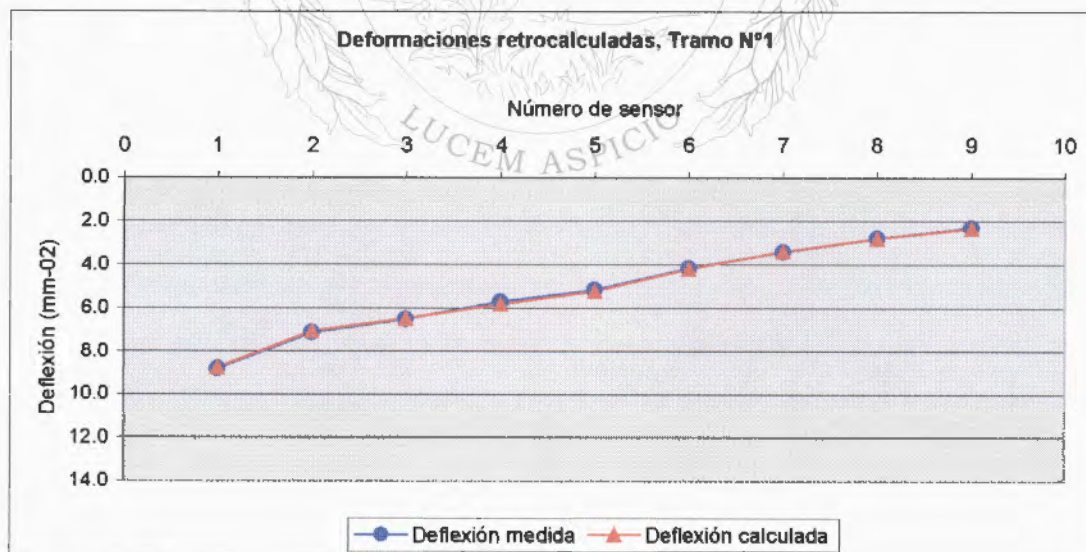
Tramo	Módulos retrocalculados				
	Capa Asfáltica (*)	Base estabilizada	Subbase mejorada	Subbase granular	Subrasante (***)
1	4 483 (650 000) (**)	8 966 (1 300 000)	1 172 (170 000)	502 (72 800)	90 (13 067)
2	3 172 (460 000)	11 552 (1 675 000)	1 207 (175 000)	345 (50 000)	164 (23 833)
3	8 000 (1 160 000)	1 614 (234 000)	752 (109 000)	103 (15 000)	147 (21 333)
4	2 976 (431 500)	9 683 (1 404 000)	959 (139 000)	483 (70 000)	121 (17 533)
5	1 356 (196 600)	6 207 (900 000)	1 136 (164 700)	448 (65 000)	79 (11 467)
6	2 738 (397 000)	9 579 (1 389 000)	621 (90 000)	216 (31 300)	197 (28 600)
7	1 903 (276 000)	5 862 (850 000)	1 290 (187 000)	214 (31 000)	109 (15 850)
8	2 931 (425 000)	2 924 (424 000)	2 297 (333 000)	2 931 (425 000)	101 (14 700)
9	2 161 (313 300)	4 181 (606 300)	1 192 (172 800)	394 (57 100)	100 (14 400)

(*) Módulo retrocalculado a la temperatura de ensayo (de la carretera) y a la frecuencia de impacto del FWD.

(**) El valor entre paréntesis corresponde a psi.

(***) Valor corregido por el valor de 1/3 según recomendación de la guía AASHTO-93.

Gráfico N°1: Deformaciones medidas y retrocalculadas, Tramo N°1.



6. COEFICIENTES ESTRUCTURALES

El valor de número estructural del pavimento, que define la Guía AASHTO 93 tiene importantes limitaciones técnicas y analíticas. Su fundamento experimental es insuficiente como para extrapolar ese criterio a todos los pavimentos dentro del marco de variables del ensayo de deflectometría y su respectivo retrocálculo de módulos, por ejemplo:

- *Temperatura de la capa asfáltica*
- *Materiales constitutivos de las distintas capas del pavimento*
- *Contenido de humedad en el suelo o en las capas granulares*
- *Magnitud y duración de la carga aplicada*
- *Adherencia entre capas*
- *Configuración estructural de las capas de pavimento, ubicación, rigidez, espesor, etc*

Adicionalmente, desde el punto de vista propiamente analítico, el número estructural tiene importantes limitaciones como indicador del desempeño o vida útil de las diferentes capas del pavimento, o sea para determinar la capacidad estructural del pavimento.

Con las salvedades anteriores y con base en la Guía AASHTO 93, se presentan los valores aproximados de los coeficientes estructurales de las distintas capas del pavimento en los tramos analizados. Como se aprecia, en muchos casos los valores de los coeficientes estructurales se salen del rango de valores que establece dicha guía, lo cual es esperable de acuerdo con lo anteriormente señalado.

Tabla N°6: Valores de coeficiente estructural de las capas de pavimento

Tramo	Coeficientes estructurales			
	Capa asfáltica (*)	Base estabilizada	Subbase mejorada	Subbase granular
1	>0.45	>0.26	>0.16	>0.14
2	>0.44	>0.26	>0.16	>0.14
3	>0.45	<0.10	>0.16	0.11
4	>0.43	>0.26	>0.16	>0.14
5	>0.29	0.24	>0.16	>0.14
6	>0.42	>0.26	>0.16	>0.14
7	>0.35	0.23	>0.16	>0.14
8	>0.43	<0.10	>0.16	>0.14
9	>0.37	0.15	>0.16	>0.14

(*) Valor estimado para la velocidad de carga del FWD y para las condiciones de temperatura de la capa asfáltica, al momento de realizar las mediciones de campo.

7. RESUMEN DE RESULTADOS

La Tabla N°6 presenta el resumen de resultados que determinan la capacidad estructural del pavimento en cada uno de los tramos analizados (hechas las salvedades anteriores).

Tabla N°6: Resumen caracterización de material existente.

Tramo N°	Capa del pavimento	Espesor (cm)	Módulo de Poisson	Módulo retrocalculado (MPa) (*)
1	Capa asfáltica	10	0.35	4 483
	Base estabilizada	20	0.15	8 966
	Subbase mejorada	25	0.25	1 172
	Subbase granular	20	0.40	502
	Subrasante (**)	-	0.45	90
2	Capa asfáltica	10	0.35	3 172
	Base estabilizada	20	0.15	11 552
	Subbase mejorada	25	0.25	1 207
	Subbase granular	20	0.40	345
	Subrasante	-	0.45	164
3	Capa asfáltica	10	0.35	8 000
	Base estabilizada	20	0.15	1 614
	Subbase mejorada	25	0.25	752
	Subbase granular	20	0.40	103
	Subrasante	-	0.45	147
4	Capa asfáltica	10	0.35	2 976
	Base estabilizada	20	0.15	9 683
	Subbase mejorada	25	0.25	959
	Subbase granular	20	0.40	483
	Subrasante	-	0.45	121
5	Capa asfáltica	10	0.35	1 356
	Base estabilizada	20	0.15	6 207
	Subbase mejorada	25	0.25	1 136
	Subbase granular	20	0.40	448
	Subrasante	-	0.45	79
6	Capa asfáltica	10	0.35	2 738
	Base estabilizada	20	0.15	9 579
	Subbase mejorada	25	0.25	621
	Subbase granular	20	0.40	216
	Subrasante	-	0.45	197
7	Capa asfáltica	10	0.35	1 903
	Base estabilizada	20	0.15	5 862
	Subbase mejorada	25	0.25	1 290
	Subbase granular	20	0.40	214
	Subrasante	-	0.45	109
8	Capa asfáltica	10	0.35	2 931
	Base estabilizada	20	0.15	2 924
	Subbase mejorada	25	0.25	2 297
	Subbase granular	20	0.40	2 931
	Subrasante	-	0.45	101
9	Capa asfáltica	10	0.35	2 161
	Base estabilizada	20	0.15	4 181
	Subbase mejorada	25	0.25	1 192
	Subbase granular	20	0.40	394
	Subrasante	-	0.45	100

(*) Valor del módulo retrocalculado a la temperatura que se hizo la medición en el campo.

(**) Un tercio del valor de módulo retrocalculado, según criterio de la Guía AASHTO - 93.



Anexo A
**Deflexiones en cada uno de
los tramos homogéneos**

Tabla N°A1: Valores de deflexión, Tramo N°1

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
11600	43.9	30.8	7.72	5.91	5.60	5.20	4.92	4.36	3.78	3.28	2.79
11800	41.5	29.9	7.14	5.21	4.31	3.74	3.50	3.09	2.74	2.24	1.84
12000	29.5	30.7	6.00	4.31	3.91	3.75	3.39	2.93	2.54	2.23	1.77
12200	26.5	29.8	7.45	5.39	4.60	4.21	3.68	3.25	2.76	2.36	1.96
12400	29.7	29.6	10.10	9.76	9.61	7.82	5.49	3.99	3.08	2.36	1.73
12600	42.0	29.9	8.75	6.55	5.78	5.33	5.11	4.20	3.39	2.68	2.11
12800	37.8	30.2	9.48	7.89	7.47	6.72	5.95	4.55	3.64	2.79	2.25
13000	41.8	31.3	7.29	6.59	5.58	3.48	3.25	2.68	2.47	2.09	1.72
13200	40.2	31.2	9.55	7.89	7.44	6.03	5.61	4.39	3.66	3.03	2.57
13400	35.6	29.9	9.03	7.06	6.37	5.87	5.76	4.62	4.11	3.60	3.14
13600	41.4	30.7	12.09	9.31	8.37	7.68	7.01	5.49	3.80	3.15	2.62
13800	43.3	30.5	11.36	9.43	8.63	7.55	6.97	5.55	4.39	3.07	2.75
14000	39.9	31.0	10.24	8.32	7.57	6.92	6.14	5.12	4.45	3.76	3.20
14200	34.1	30.1	8.48	7.59	7.15	6.43	6.22	4.63	3.70	2.93	2.51
14400	39.4	29.7	6.31	5.21	4.95	4.71	4.54	3.94	3.51	3.03	2.29
14600	39.3	30.7	10.01	7.80	7.08	6.23	5.40	4.12	3.08	2.45	2.02
		Promedio	8.81	7.14	6.53	5.73	5.18	4.18	3.44	2.82	2.33
		Desv. Est.	1.75	1.65	1.66	1.45	1.22	0.86	0.62	0.50	0.49

Tabla N°A2: Valores de deflexión, Tramo N°2.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
15200	34.8	30.0	6.90	6.09	5.76	5.39	3.69	2.04	1.11	0.48	0.42
15400	40.8	31.3	7.44	5.37	4.77	4.23	3.53	2.69	2.04	1.45	1.15
15600	42.8	31.3	6.04	3.75	3.37	3.24	2.77	2.20	1.77	1.39	1.07
15800	34.9	31.1	5.60	4.67	4.29	3.77	3.67	3.01	2.46	2.09	1.63
16000	33.5	30.3	7.87	5.95	5.21	4.42	3.80	2.79	2.28	1.99	1.58
16200	42.0	30.7	8.48	6.10	5.66	5.35	4.60	3.64	2.82	2.20	1.83
16400	40.9	29.0	9.17	5.47	4.32	3.49	2.79	2.03	1.42	1.03	1.00
16600	41.3	29.1	5.70	3.89	3.61	3.44	3.27	2.60	2.08	1.76	1.47
		Promedio	7.15	5.16	4.62	4.17	3.52	2.63	2.00	1.55	1.27
		Desv. Est.	1.32	0.95	0.89	0.84	0.59	0.55	0.55	0.59	0.45

Tabla N°A3: Valores de deflexión, Tramo N°3.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
17400	40.4	29.9	9.90	6.82	6.10	5.19	4.60	3.47	2.57	1.96	1.90
17600	40.5	30.0	9.07	6.94	5.96	5.43	4.62	3.64	2.90	2.15	1.54
17800	40.1	31.6	10.79	9.42	7.72	6.16	5.63	4.32	3.55	2.77	2.21
18000	40.7	30.3	13.94	10.70	9.14	7.38	6.27	4.07	2.59	2.07	1.84
18200	40.7	30.1	14.18	11.21	8.68	6.46	3.98	2.41	1.53	1.00	0.72
18400	40.5	30.9	11.88	8.12	7.28	6.43	4.75	2.70	1.50	1.00	0.62
18600	35.9	30.0	11.17	8.71	7.35	6.32	5.44	3.53	2.55	1.77	1.34
18800	35.8	30.6	9.83	6.92	6.06	5.65	4.83	3.73	2.84	1.96	1.55
19000	41.1	30.6	12.99	11.38	7.09	3.90	3.65	2.79	2.12	1.42	1.08
		Promedio	11.53	8.91	7.26	5.88	4.86	3.41	2.46	1.79	1.42
		Desv. Est.	1.85	1.86	1.13	0.99	0.81	0.64	0.66	0.57	0.54

Tabla N°A4: Valores de deflexión, Tramo N°4.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
19200	37.9	29.6	7.38	4.33	3.79	3.29	2.77	2.02	1.35	0.99	0.70
19400	39.5	30.0	7.65	5.06	4.81	4.12	3.88	3.00	2.54	2.21	1.81
19600	37.1	30.2	7.20	5.70	5.24	4.40	3.88	2.87	2.14	1.66	1.06
19800	40.6	31.0	9.85	8.07	7.59	6.71	5.84	4.51	3.78	3.09	2.60
20200	39.1	30.8	8.65	6.96	6.62	4.81	4.22	3.21	2.66	2.28	1.90
20400	41.2	31.0	9.94	7.61	7.03	6.13	5.30	3.71	2.69	1.86	1.56
20600	40.3	30.5	8.83	6.08	5.83	5.45	4.83	4.04	3.38	2.85	2.30
		Promedio	8.50	6.26	5.84	4.99	4.39	3.34	2.65	2.13	1.70
		Desv. Est.	1.13	1.36	1.34	1.19	1.02	0.83	0.79	0.71	0.66

Tabla N°A5: Valores de deflexión, Tramo N°5.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
21200	40.0	32.1	11.33	7.79	7.63	7.31	6.59	4.12	3.06	2.54	1.96
21600	29.0	29.2	14.06	9.31	7.52	6.90	6.34	4.97	4.09	3.34	2.82
21800	26.6	29.2	14.67	10.48	9.31	8.31	7.48	5.82	4.65	3.77	3.16
22000	27.4	28.2	10.67	7.92	7.36	6.63	4.86	3.43	2.49	2.06	1.70
22400	42.2	28.9	14.49	6.91	4.81	4.89	4.51	3.79	3.34	2.87	2.24
22800	45.3	30.6	11.50	6.94	5.81	5.47	4.93	4.14	3.41	2.73	2.16
23000	42.9	30.0	14.60	11.13	10.31	9.53	8.62	6.63	5.33	4.17	3.38
23200	40.7	30.8	12.15	9.35	8.51	7.71	6.58	5.31	4.42	3.49	3.27
23400	33.9	30.0	10.67	8.22	7.44	7.08	6.40	5.53	4.63	3.75	3.23
23600	32.1	30.8	14.57	9.80	8.45	7.12	6.37	4.75	3.88	3.23	2.80
		Promedio	12.87	8.79	7.72	7.10	6.27	4.85	3.93	3.20	2.67
		Desv. Est.	1.75	1.45	1.59	1.32	1.25	1.00	0.86	0.64	0.61

Tabla N°A6: Valores de deflexión, Tramo N°6.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)									
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	
24400	31.4	29.4	8.86	6.63	5.81	4.81	3.87	2.43	1.33	0.81	0.56	
24600	33.3	30.3	9.62	8.86	8.88	6.46	4.74	2.84	1.89	1.27	1.04	
24800	34.2	30.7	6.10	3.98	3.64	3.23	2.91	2.10	1.40	0.80	0.55	
25200	32.3	30.1	7.61	4.38	4.05	3.76	3.46	2.83	2.30	1.61	1.39	
25400	30.2	29.7	9.77	7.36	6.34	5.47	4.66	3.35	2.34	1.70	1.22	
25600	32.6	28.8	7.37	4.51	3.83	3.60	3.26	2.63	2.23	1.88	1.56	
25800	32.6	29.9	9.78	6.35	5.40	4.29	3.51	2.23	1.57	1.09	1.00	
26000	35.0	30.2	8.49	5.76	5.09	4.30	3.45	2.08	1.22	0.88	0.55	
26200	34.2	31.0	6.55	4.39	3.72	3.37	3.03	2.44	2.04	1.61	1.26	
			Promedio	8.24	5.80	5.20	4.37	3.65	2.55	1.81	1.29	1.01
			Desv. Est.	1.40	1.65	1.70	1.06	0.66	0.41	0.44	0.42	0.38

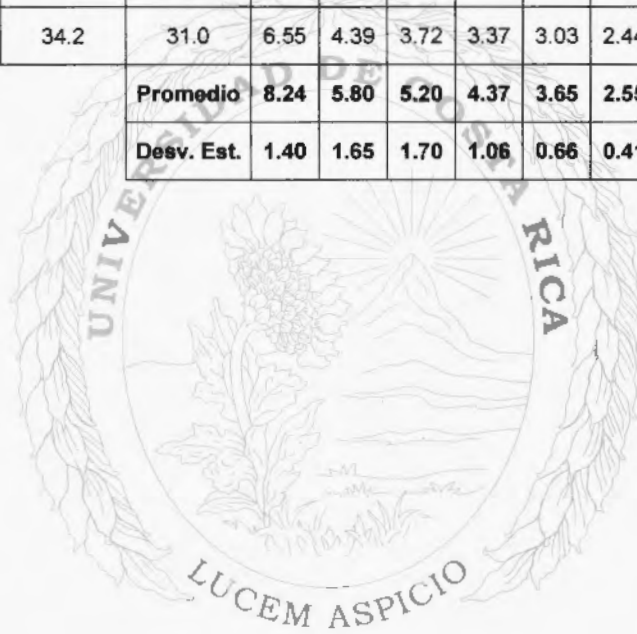


Tabla N°A7: Valores de deflexión, Tramo N°7.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
26600	31.8	29.6	9.66	8.22	7.61	6.70	5.69	4.19	2.97	2.12	1.70
26841	33.1	27.3	10.41	8.29	7.43	6.46	5.57	3.79	2.76	1.91	1.23
27000	34.5	29.4	10.54	6.21	4.69	4.32	3.84	2.78	1.94	0.94	0.73
27200	35.3	29.3	11.39	8.21	6.67	5.84	4.98	3.49	2.66	1.82	1.51
27400	31.7	29.9	11.38	7.77	6.67	5.80	4.62	3.36	2.64	2.03	1.75
27600	31.2	29.6	13.58	9.34	7.60	6.52	5.49	3.85	2.76	1.86	1.24
28000	34.9	28.7	12.56	7.44	5.74	5.00	4.42	3.41	2.68	2.03	1.61
28200	29.2	26.7	9.66	6.82	6.16	5.76	5.06	2.83	2.00	1.48	1.01
28400	28.8	26.4	14.86	9.01	7.05	5.64	4.72	2.99	1.78	0.99	0.60
28600	28.2	26.8	8.07	5.93	5.40	4.73	4.14	2.92	1.62	1.22	0.85
28800	30.7	27.1	11.10	8.26	7.52	6.64	5.79	4.33	3.18	2.41	1.98
29001	28.6	26.3	9.49	6.42	5.45	4.69	3.97	2.64	1.76	1.06	0.76
29200	30.4	26.4	14.90	10.16	8.49	7.67	6.83	5.38	4.49	3.62	2.97
29400	30.9	25.8	10.77	8.06	7.43	6.54	5.77	4.48	3.63	2.95	2.46
29600	30.2	26.4	7.18	4.97	4.38	3.65	3.10	2.10	1.50	0.99	0.77
30000	31.9	26.7	11.90	9.70	9.26	8.59	6.36	5.28	4.33	3.75	3.21
30200	30.2	27.0	11.34	9.32	8.48	7.62	6.72	5.16	3.83	3.03	2.28
30400	32.7	27.8	9.15	6.35	5.77	5.26	4.69	3.55	2.70	2.10	1.89
30600	37.7	27.4	7.99	4.29	3.73	3.67	3.09	2.48	2.15	1.74	1.67
30800	38.4	27.4	9.25	5.53	5.32	5.22	4.96	4.42	3.82	3.37	2.77
31000	37.4	27.5	8.56	6.35	5.86	5.39	4.80	3.89	3.30	2.72	2.42
31200	37.1	27.3	12.86	8.61	7.24	6.63	6.17	4.60	3.96	3.55	2.97
31400	39.5	29.0	10.30	7.86	7.20	4.35	4.08	3.35	2.74	2.49	2.10
31600	39.9	29.5	11.60	7.54	6.78	6.22	5.68	4.41	3.50	3.13	2.58
31800	40.3	28.1	11.33	6.68	6.17	5.40	5.01	3.91	3.21	2.59	2.24
32000	42.6	31.0	11.11	8.00	7.37	6.85	6.07	4.75	3.65	2.62	2.34
32200	41.2	28.5	10.47	6.71	5.96	5.58	5.09	4.11	3.44	2.78	2.57

Tabla N°A7 (continuación): Valores de deflexión, Tramo N°7.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
32400	43.1	29.4	10.47	7.62	6.88	6.22	5.53	4.20	3.28	2.77	2.29
32600	44.0	29.7	13.70	9.17	8.83	8.18	7.48	5.81	4.41	3.48	2.91
32800	32.3	29.0	11.03	8.97	8.02	7.22	5.94	4.44	3.52	2.87	2.39
33000	40.5	27.7	10.11	7.39	6.28	5.51	4.82	3.77	3.25	2.56	2.10
		Promedio	10.86	7.59	6.69	5.93	5.18	3.89	3.01	2.35	1.93
		Desv. Est.	1.86	1.42	1.30	1.22	1.03	0.90	0.83	0.83	0.75

Tabla N°A8: Valores de deflexión, Tramo N°8.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
33200	42.3	29.6	11.55	6.63	5.04	4.52	3.75	3.01	2.47	2.09	1.49
33400	43.0	29.4	8.68	5.13	4.59	4.48	4.18	3.67	3.24	2.87	2.52
34000	42.6	29.6	7.82	5.71	4.77	3.99	4.07	3.19	2.81	2.33	2.10
34200	43.6	30.5	8.37	6.33	5.67	5.30	4.60	3.82	3.39	2.84	2.47
34400	44.0	30.7	9.20	5.66	4.93	4.32	4.07	3.44	2.68	2.33	2.08
34803	45.0	29.7	10.03	8.45	7.28	6.13	5.25	4.10	3.04	2.41	2.15
35000	44.3	28.8	8.90	5.98	5.12	4.54	4.14	3.56	3.19	2.69	2.47
35200	43.8	28.5	7.71	5.07	4.53	4.16	4.22	3.63	3.32	2.92	2.62
35400	42.8	28.4	7.22	4.38	3.73	3.59	3.25	2.91	2.58	2.38	1.98
35600	35.7	27.6	7.80	6.17	5.11	4.39	3.86	3.28	2.87	2.60	2.24
35800	40.4	29.3	9.42	6.85	4.93	3.58	2.90	2.18	1.74	1.52	1.26
36000	42.7	28.8	7.24	5.52	5.01	4.16	3.92	3.01	2.56	2.08	1.72
36200	42.3	28.9	11.91	7.29	6.08	5.29	4.83	3.94	3.27	2.80	2.38
		Promedio	8.91	6.09	5.14	4.50	4.08	3.36	2.86	2.45	2.11
		Desv. Est.	1.51	1.06	0.85	0.71	0.61	0.52	0.46	0.40	0.41

Tabla N°A9: Valores de deflexión, Tramo N°9.

Estacionamiento	Temp. Pavim.	Temp. Aire	Deflexión en cada sensor (mm ⁻⁰²)								
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
36600	39.2	28.3	10.68	9.26	8.61	7.43	6.45	4.79	3.74	2.88	2.50
36800	42.5	28.4	11.28	9.49	7.91	6.63	5.56	4.26	3.48	2.86	2.39
37000	41.6	28.9	14.80	12.41	10.76	9.12	7.43	4.81	3.50	2.77	2.41
37400	43.8	29.7	12.49	9.43	7.12	5.97	5.06	3.53	2.68	1.91	1.59
37600	41.0	29.5	13.03	9.83	8.98	8.04	7.02	5.31	4.13	3.22	2.60
37800	34.2	29.0	9.81	6.70	5.91	5.68	5.02	3.67	2.90	2.54	2.02
38200	38.8	29.6	12.59	10.98	10.01	8.81	7.83	5.87	4.72	3.84	3.19
38401	42.8	29.2	8.65	4.89	4.22	4.24	3.82	3.32	2.82	2.23	1.78
38600	34.4	29.9	9.75	6.85	5.92	5.45	5.12	4.05	3.45	2.84	2.66
38800	38.7	29.9	8.38	6.45	5.75	5.21	4.71	4.00	3.44	3.03	2.64
39000	41.6	29.7	14.45	8.11	6.52	5.73	4.92	3.77	3.08	2.50	2.05
39200	42.4	30.5	8.53	4.11	3.91	3.82	3.64	3.24	2.86	1.51	1.32
39400	44.6	31.5	10.10	5.28	4.90	4.45	3.72	2.64	2.04	1.52	1.07
39600	44.0	30.0	11.93	6.89	4.84	4.23	3.76	2.76	2.19	1.69	1.51
		Promedio	11.18	7.91	6.81	6.06	5.29	4.00	3.22	2.52	2.12
		Desv. Est.	2.11	2.42	2.16	1.72	1.41	0.94	0.72	0.68	0.61



Anexo B
**Gráficos de deflexión medida
y retrocalculada**

Los siguientes gráficos muestran las curvas de ajuste de las deformaciones retrocalculadas, en comparación con los valores reales medidos en el campo.

Gráfico N°B1: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°2.

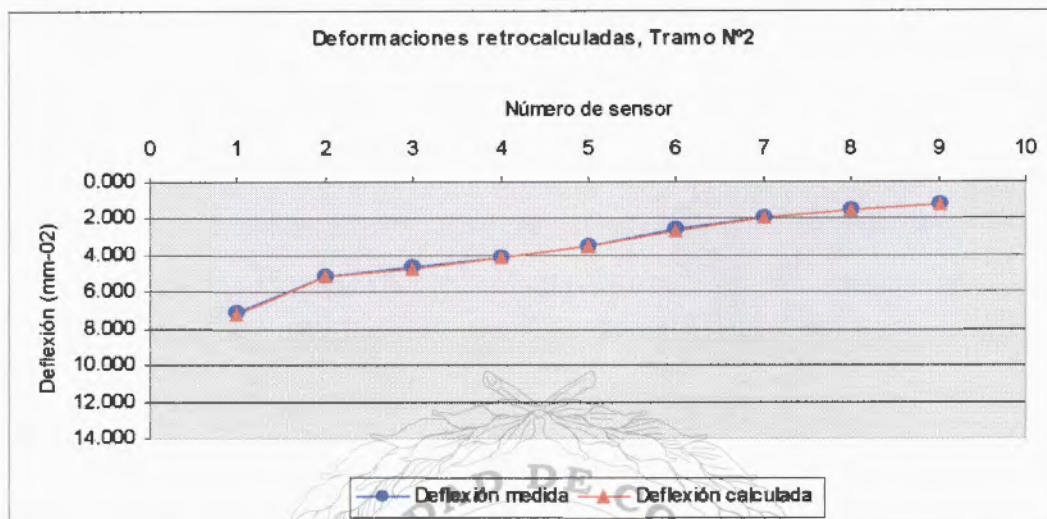


Gráfico N°B2: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°3.

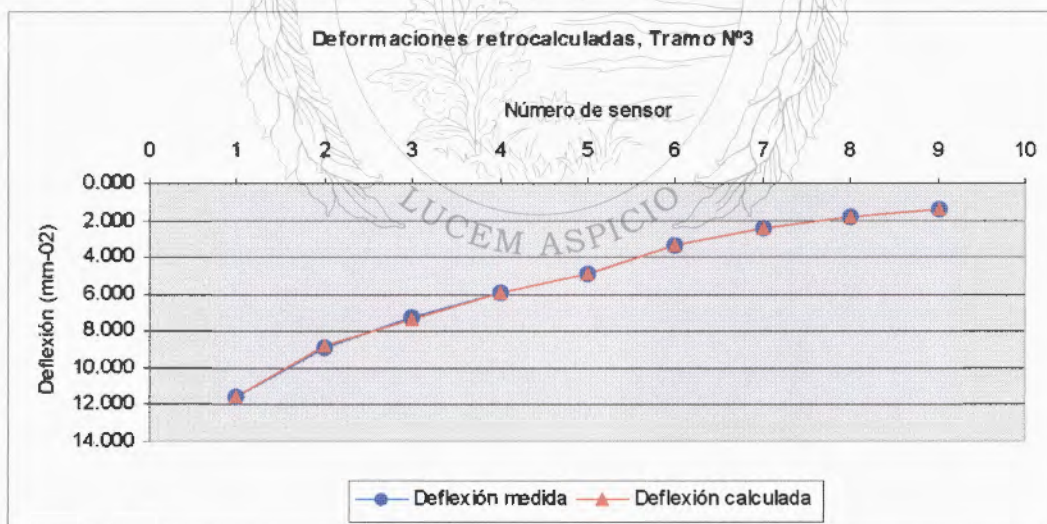


Gráfico N°B3: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°4.

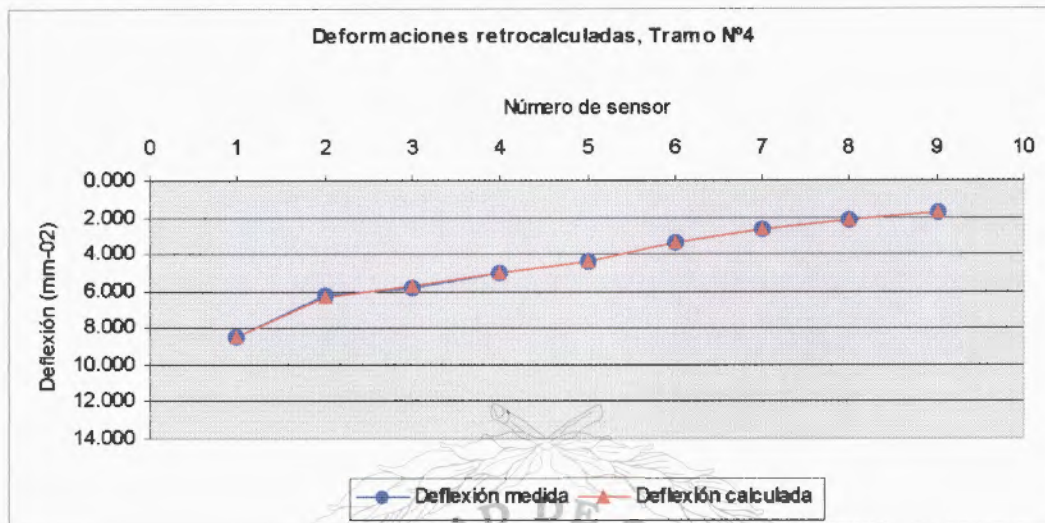


Gráfico N°B4: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°5.

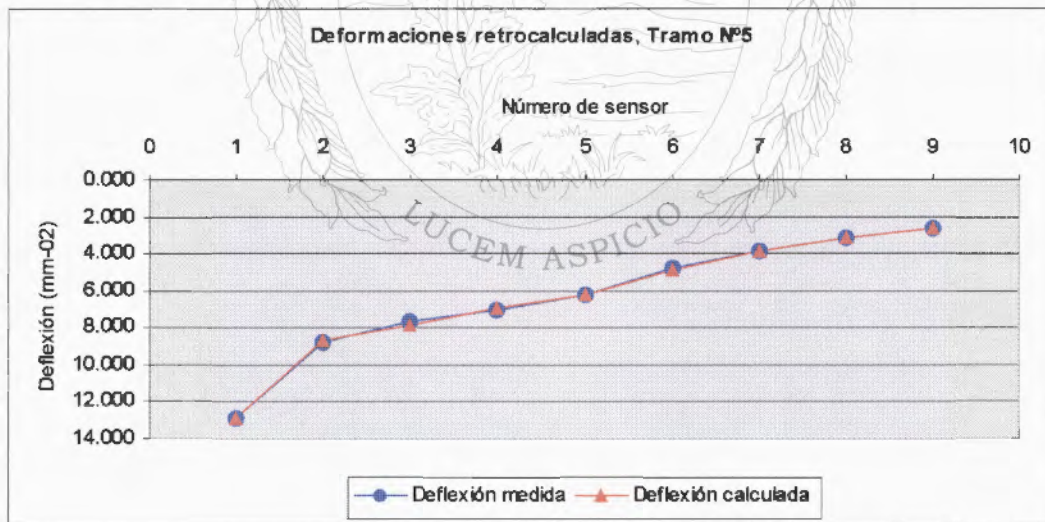


Gráfico N°B5: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°6.

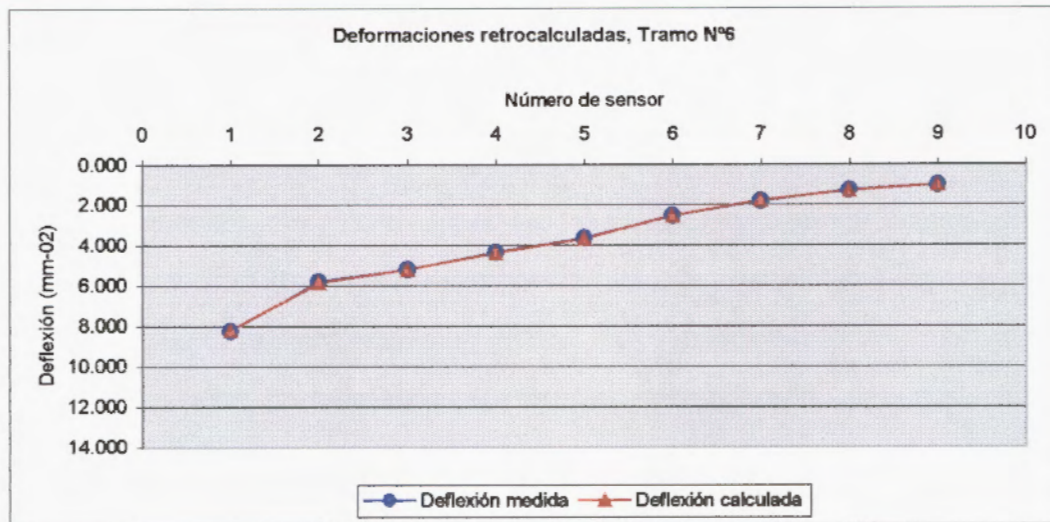


Gráfico N°B6: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°7.

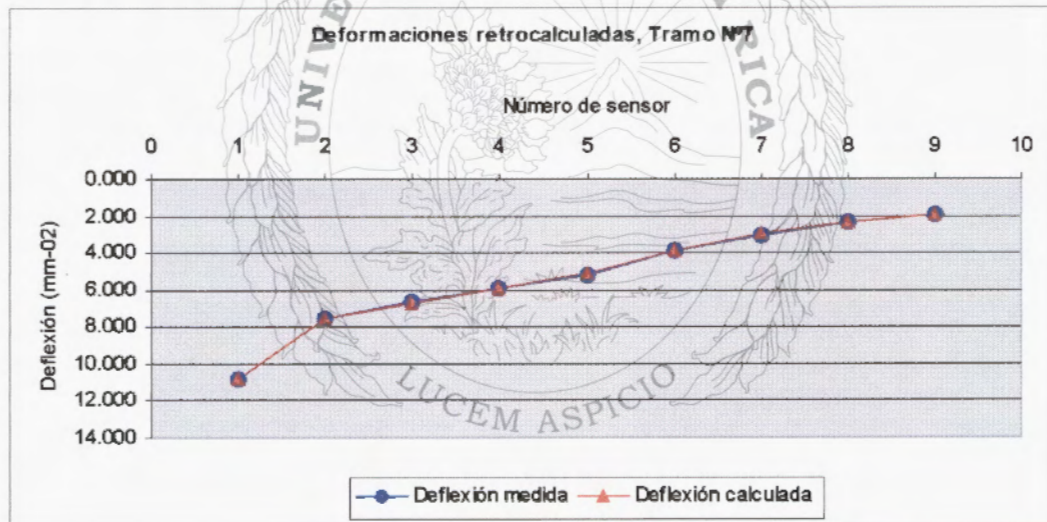


Gráfico N°B7: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°8.

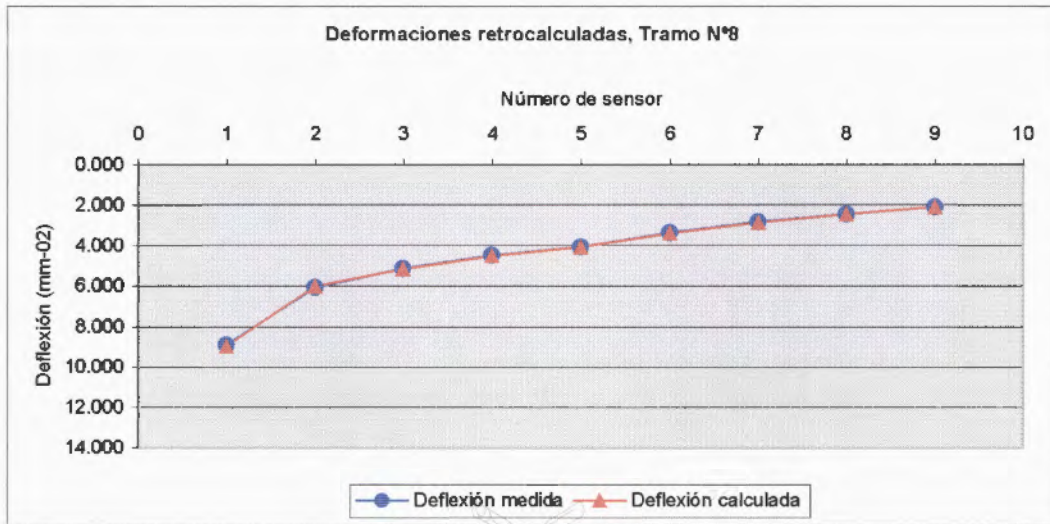
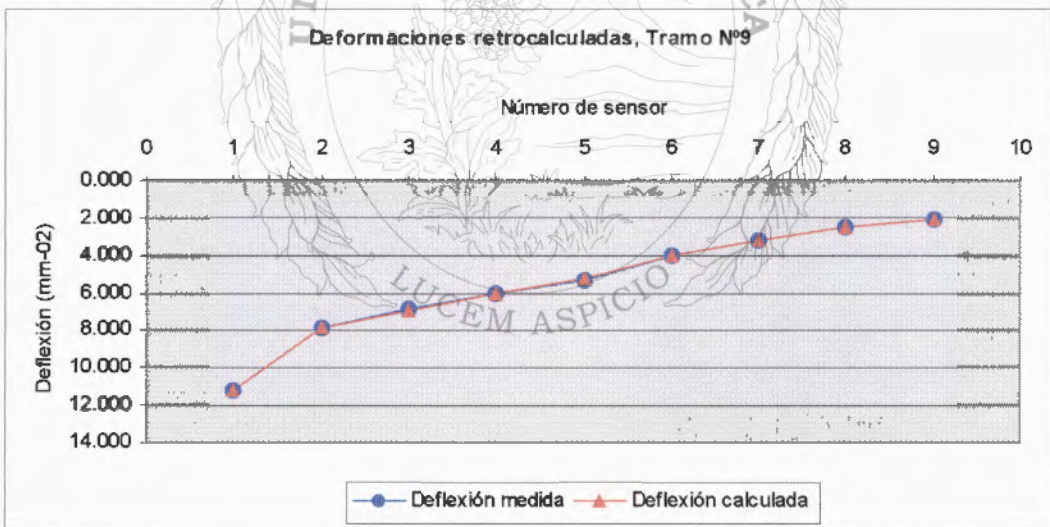


Gráfico N°B8: Deformaciones retrocalculadas, Tramo N°9.



BACKCALCULATION by Evercalc© 5.0 - Detail Output

Route: Tramo 5. Tarcoles Jaco Loma

Plate Radius (cm): 15.0

No of Sensors: 9

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 60.0 90.0 120.0 150.0 180.0

No of Layers: 5

Stiff Layer: No

P-Ratio: .350 .150 .250 .400 .450

Station: 1

No of Drops: 1

Average RMS Error(%): 126.43

Thickness (cm): 10.00 20.00 25.00 20.00

Pavement Temperature (C): N/A

Drop No: 1

Load (N): 40000.0

No of Iterations: 3

Convergence: Close to Optimum (4)

RMS Error (%): *****

Sensor No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Measured Deflections (microns):	128.700	87.900	77.200	71.000	62.700	48.500	39.300	32.000	26.700
Calculated Deflection (microns):	202.807	161.699	152.804	142.441	132.534	114.560	98.973	85.602	74.245
Difference (%):	-57.58	-83.96	-97.93	-100.62	-111.38	-136.21	-151.84	-167.51	-178.07

Layer No:	1	2	3	4	5
Seed Moduli (MPa):	1356.00	6207.00	1136.00	400.00	65.00
Calculated Moduli (MPa):	1400.00	6250.00	1150.00	475.00	85.00

Layer No:	1	2	3	4	5
Radial Distance (cm):	.00	.00	.00	.00	.00
Position:	Top	Middle	Middle	Middle	Top
Vertical Stress (kPa):	-566.01	-248.88	-41.21	-11.47	.00
Radial Stress (kPa):	-394.30	10.53	29.90	20.26	.00
Bulk Stress (kPa):	-1354.62	-227.81	18.59	29.05	.00
Deviator Stress (kPa):	-171.71	-259.41	-71.12	-31.73	.00
Vertical Strain (10 ⁻⁶):	-207.14	-40.33	-48.84	-58.27	.00
Radial Strain (10 ⁻⁶):	-41.57	7.41	28.46	35.25	.00

BACKCALCULATION by Evercalc© 5.0 - Summary Output

Route: Tramo 5. Tarcoles Jaco Loma

Plate Radius (cm): 15.0

No of Sensors: 9

Offsets (cm): .0 20.0 30.0 45.0 60.0 90.0 120.0 150.0 180.0

No of Layers: 5

Stiff Layer: No

P-Ratio: .350 .150 .250 .400 .450

Station	Load (N)	E(1)(MPa)	E(2)(MPa)	E(3)(MPa)	E(4)(MPa)	E(5)(MPa)	RMS Error
1	Thickness (cm)	10.00	20.00	25.00	20.00	-	-
1	40000.0	1400.0	6250.0	1150.0	475.0	85.0	*****

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: Tramo 5 Tarcoles Jaco Loma
No of Layers: 5

No of Loads: 1

No of X-Y Evaluation Points: 8

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (cm)	Moduli(1) (MPa)
1	.35	10.000	1356.00
2	.15	20.000	6207.00
3	.25	25.000	1136.00
4	.40	20.000	448.00
5	.45		79.00

Load No	X-Position (cm)	Y-Position (cm)	Load (N)	Pressure (kPa)	Radius (cm)
1	.00	.00	40000.0	565.88	15.000

Location No: 1 X-Position (cm): .000 Y-Position (cm): .000

Z-Position (cm)	Layer	Normal Stresses					
		Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-392.73	-392.73	-565.88	.00	.00	.00

Z-Position (cm)	Layer	Normal Strains and Deflections					
		Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	-42.19	-42.19	-214.58	.000	.000	213.155

Z-Position (cm)	Layer	Principal Stresses and Strains					
		S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-565.88	-392.73	-392.73	-214.58	-42.19	-42.19

Location No: 2 X-Position (cm): 20.000 Y-Position (cm): .000

Z-Position (cm)	Layer	Normal Stresses					
		Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-29.55	-69.74	.00	.00	.00	.00

Z-Position (cm)	Layer	Normal Strains and Deflections					
		Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	-3.79	-43.80	25.63	-8.760	.000	170.934

Z-Position (cm)	Layer	Principal Stresses and Strains					
		S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-69.74	-29.55	.00	-43.80	-3.79	25.63

Location No: 3 X-Position (cm): 30.000 Y-Position (cm): .000

Z-Position (cm)	Layer	Normal Stresses					
		Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-56.52	-68.80	.00	.00	.00	.00

Z-Position	Layer	Normal Strains and Deflections					
		Exx	Eyy	Ezz	Ux	Uy	Uz

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

(cm)		(10 ⁻⁶)	(10 ⁻⁶)	(10 ⁻⁶)	(microns)	(microns)	(microns)
.000	1	-23.93	-36.15	32.35	-10.844	.000	161.846
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-68.80	-56.52	.00	-36.15	-23.93	32.35
Location No: 4		X-Position (cm): 60.000			Y-Position (cm): .000		
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-13.89	-35.87	.00	.00	.00	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	-.98	-22.87	12.84	-13.721	.000	140.947
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-35.87	-13.89	.00	-22.87	-.98	12.84
Location No: 5		X-Position (cm): 90.000			Y-Position (cm): .000		
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	-2.84	-20.92	.00	.00	.00	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	3.30	-14.69	6.13	-13.222	.000	122.230
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)
.000	1	-20.92	-2.84	.00	-14.69	3.30	6.13
Location No: 6		X-Position (cm): 120.000			Y-Position (cm): .000		
Normal Stresses							
Z-Position (cm)	Layer	Sxx (kPa)	Syy (kPa)	Szz (kPa)	Syz (kPa)	Sxz (kPa)	Sxy (kPa)
.000	1	1.47	-13.08	.00	.00	.00	.00
Normal Strains and Deflections							
Z-Position (cm)	Layer	Exx (10 ⁻⁶)	Eyy (10 ⁻⁶)	Ezz (10 ⁻⁶)	Ux (microns)	Uy (microns)	Uz (microns)
.000	1	4.46	-10.02	3.00	-12.026	.000	105.886
Principal Stresses and Strains							
Z-Position (cm)	Layer	S1 (kPa)	S2 (kPa)	S3 (kPa)	E1 (10 ⁻⁶)	E2 (10 ⁻⁶)	E3 (10 ⁻⁶)

