

**EVALUACION DE PAVIMENTO  
EN EL TRAMO  
LA SUIZA - TUIS - TAYUTIC**



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

PARA RECIBIR

San José, 15 de noviembre de 2002.

**LM-PI-PMR-AS-02-02**

**Ing. Miguel Vargas,  
CONAVI**

Estimado Miguel:

Luego de saludarlo muy cordialmente, me permito remitirle el informe denominado Evaluación de estructura de pavimento para el tramo La Suiza – Tayutic.

Quedando en la mejor disposición para comentarios o solicitudes adicionales, me despido.

Atentamente,

**Ing. Mario Arce, Coordinador,  
Programa PITRA, LANAMME,  
Universidad de Costa Rica**

CC:

Ing. Juan Ramón Chacón, Director, Dirección de Conservación Vial, CONAVI,  
Dr. Juan Pastor Gómez, Director, LANAMME,  
Ing. MSc. MBA., Pedro Castro Fernández, Programa PITRA, LANAMME,  
Ing. Tracy Gutiérrez, Programa PITRA, LANAMME,  
Archivo.

*M. Arce*  
CONAVI CONSERVACION

19NOV2002PM2:19

# EVALUACIÓN DE PAVIMENTO EN EL TRAMO LA SUIZA - TUIS - TAYUTIC

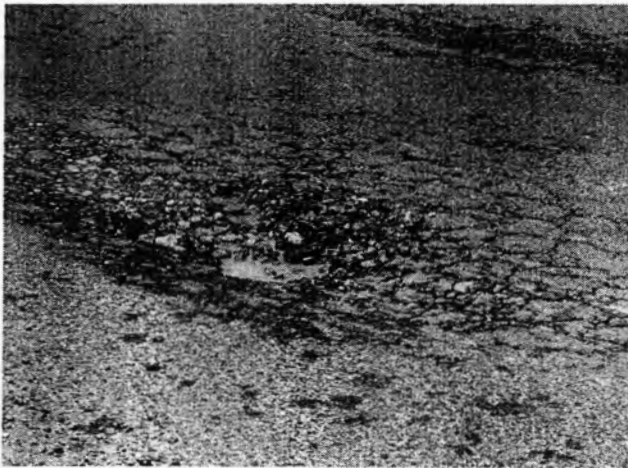
## 1. OBJETIVO

Establecer elementos de juicio sobre el deterioro prematuro experimentado por el pavimento posterior a su construcción en 2002, y plantear opciones de rehabilitación.

Patología del pavimento existente a la fecha (octubre 2002):

- Agrietamiento.
- Desprendimientos superficiales.
- Porosidad de capa asfáltica. Agua infiltrada.

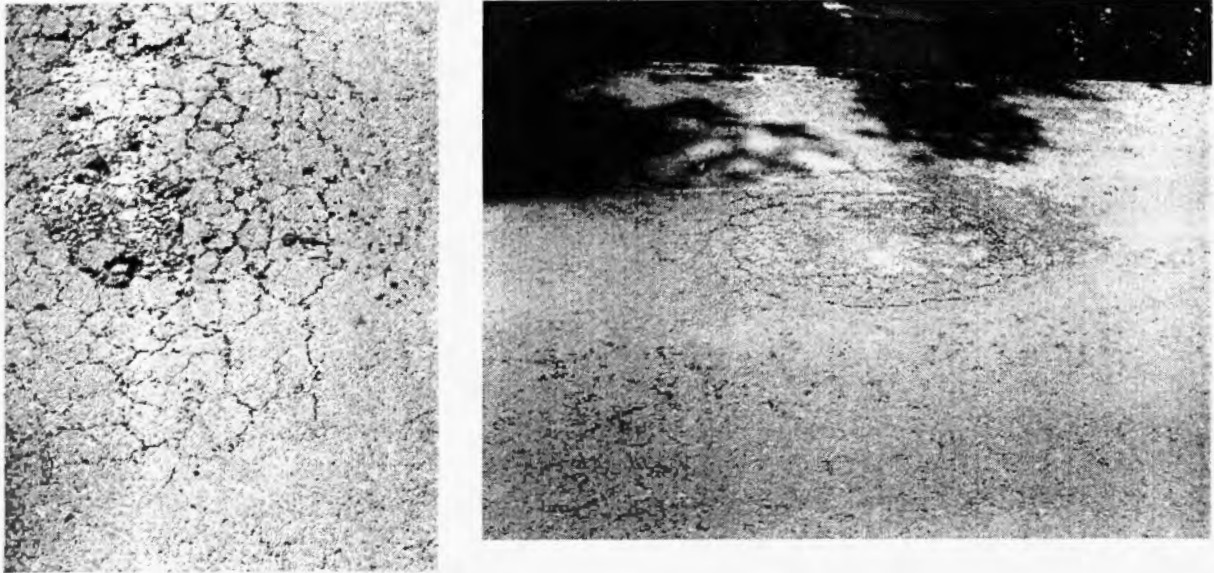
El deterioro experimentado tiene mayor nivel de severidad al inicio del tramo, a partir de La Suiza; sin embargo, en el resto del proyecto se comienza a manifestar la misma patología, con un menor nivel de severidad.



**Figura 1: Desprendimientos superficiales, agrietamiento y baches. Cercanías de La Suiza.**

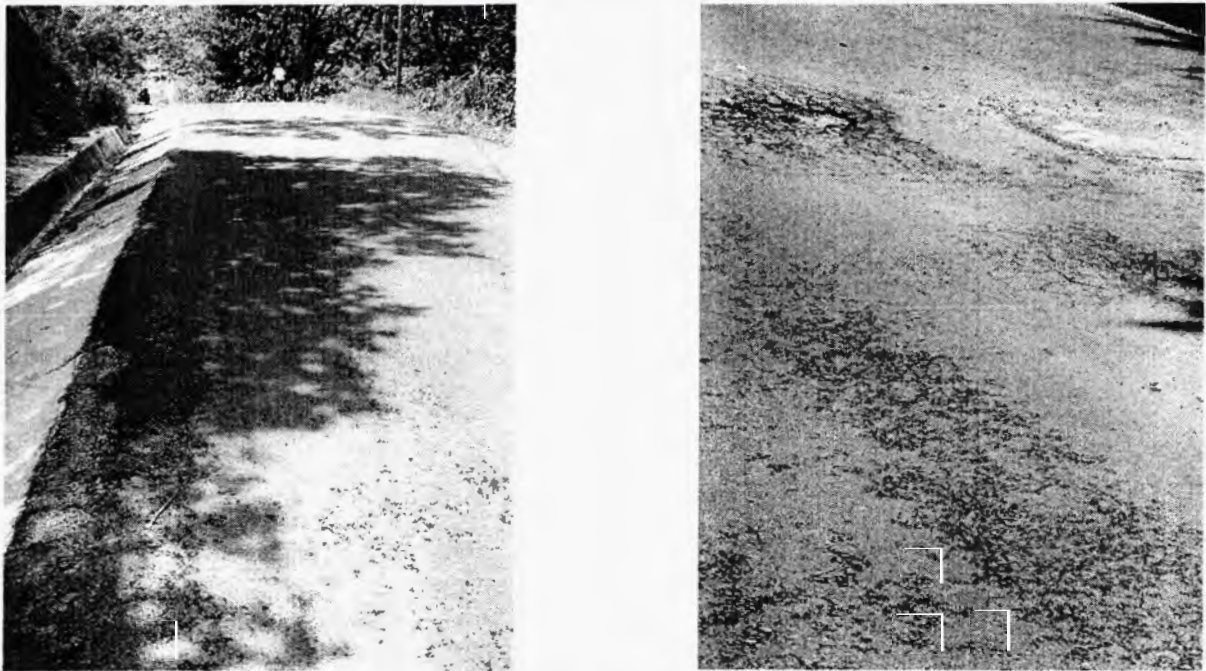


La Figura 2 ilustra el patrón de deterioro característico. A saber, agrietamiento, seguido por desprendimientos superficiales.



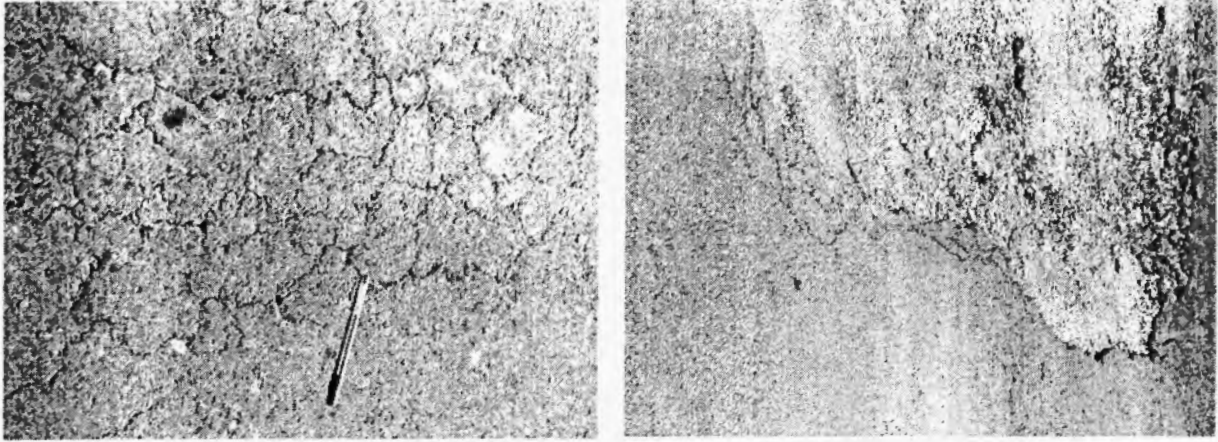
**Figura 2: Desprendimientos superficiales y agrietamiento. Cercanías de La Suiza.**

La porosidad de capa se manifiesta en las áreas con sombra; el agua llovida aparenta permear la capa superficial (Figura 3).



**Figura 3: Porosidad de capa asfáltica. Cercanías de La Suiza.**





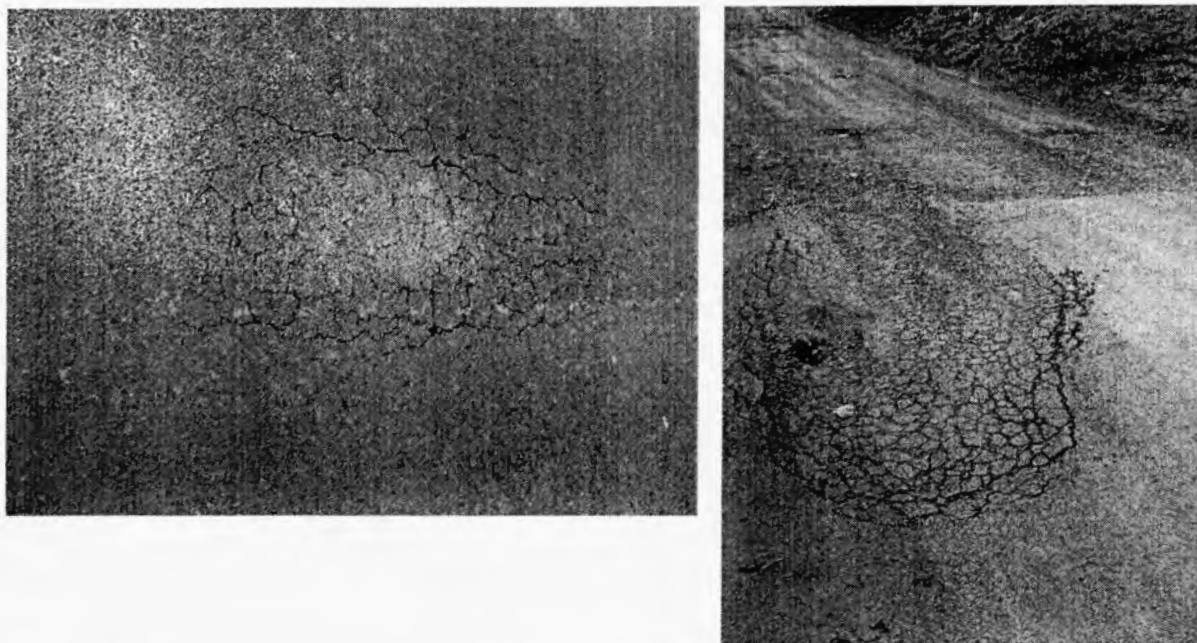
**Figura 4: Agrietamiento y formación de baches. Cercanías de La Suiza.**

La Figura 5 evidencia la presencia de vegetación en las cunetas y periferia del pavimento.



**Figura 5: Condiciones de limpieza lateral. Izquierda: Cercanías de La Suiza. Derecha: Cercanías de Tayutic.**

En las inmediaciones de Tayutic se comienza a dar el mismo tipo de deterioro que al inicio del proyecto (La Suiza). La diferencia fundamental es el nivel de severidad, pero la patología es correspondiente.



**Figura 6: Agrietamiento. Final del tramo (Tayutic).**

En los primeros meses de 2002 se contrató la colocación de una base granular (35.0 cm) y una capa asfáltica de 4.0 cm. Las fotografías presentadas corresponden al pavimento en setiembre del 2002.



## 2. COMPOSICIÓN DE ESTRUCTURA EXISTENTE

En seguida se caracteriza la estructura de pavimento existente a la fecha (octubre de 2002).

### 2.1. Espesores.

Los espesores de capa se presentan en la Tabla 1.

Para efectos de evaluación estructural se plantean dos escenarios de espesor, a saber:

- Percentil 15. De manera que el 15 % de espesores de capa son inferiores.
- Percentil 50. De manera que el 50 % de espesores de capa son inferiores.

Nota: dichos escenarios de espesor se aplican en las etapas de retrocálculo de módulos y dimensionamiento de opciones de rehabilitación.

**Tabla 1: Espesores de capas existentes.**

Segmento (*)	Capa	Sondeo de espesores		Escenarios de evaluación	
		Promedio (cm)	Desv. Estándar (cm)	Percentil 15 de espesores	Percentil 50 de espesores
Sección típica	Concreto asfáltico	5.3	1.3	4.0	5.3
	Base granular	26.7	4.1	22.6	26.7
	Relleno 1	20.0	4.5	15.5	20.0
	Sub-rasante equivalente (**)	-	-	-	-

(\*) Se usó una sección típica para todo el proyecto, considerándose dos escenarios de evaluación: percentiles 15 y 50.

(\*\*) Corresponde a una segunda capa de relleno, de espesor no determinado, colocada sobre la sub-rasante del proyecto. Para efectos de evaluación estructural se ha considerado como una única capa de sub-rasante equivalente.

De acuerdo con la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993, pp. III-53, las desviaciones estándar típicas en el medio estadounidense, por capa de pavimento, son:

- Capa asfáltica: 0.8 a 1.8 cm.
- Capa de base granular: 1.5 a 2.5 cm.

Por tanto, el espesor de la capa de base presenta un nivel de dispersión mayor que el correspondiente a la referencia AASHTO.

Nótese que el espesor de la base granular encontrado es típicamente inferior a 35.0 cm (requerido por la Administración). El Anexo I presenta los resultados individuales, por punto de sondeo, de espesores de capas.

## 2.2. Segmentos homogéneos.

A partir de los resultados de deflectometría de impacto, del 22 de agosto de 2002, se separó la totalidad del pavimento en segmentos homogéneos; es decir, tramos con una respuesta estructural diferenciada.

El parámetro de separación fue la deflexión medida debajo del plato de carga al aplicarse una carga de 4100 kg. El nivel de confianza estadística para la separación fue del 95 %.

La Tabla 2 presenta los diferentes segmentos homogéneos seleccionados.

**Tabla 2: Segmentos homogéneos con base en deflexión bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto.**

Segmento homogéneo	Estacionamiento		Deflexión bajo el plato de carga (mm E-02)	
	Inicio	Fin	Promedio	Desviación estándar
1	0+300	1+290	65.18	19.02
2	1+315	2+620	67.88	9.50
3	2+645	3+800	69.05	13.04
4	3+900	9+000	89.38	27.10

Nota: 0+000 en La Suiza.

El Anexo II presenta los resultados del análisis deflectométrico, por estacionamiento, para la totalidad de puntos de medición.

## 2.3. Módulos de rigidez.

Para cada segmento homogéneo se determinaron los módulos de rigidez para las capas que forman el paquete estructural actual, aplicando la técnica de retrocálculo de módulos, y usando dos escenarios de curva deformada:

- Aquella definida por las deflexiones promedio más media desviación estándar (percentil 70).
- Aquella definida por las deflexiones promedio más una desviación estándar (percentil 85).



Para la estimación de módulos de rigidez se usaron los dos escenarios de espesores representativos que fueron discutidos previamente.

Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3: Módulos de rigidez retrocalculados para el paquete estructural existente (psi).**

Escenario de espesores de capa	Segmento homogéneo	Percentil 70 de deflexiones.				Percentil 85 de deflexiones.			
		Concreto Asfáltico	Base	Relleno 1	Sub-rasante equivalente (*)	Concreto Asfáltico	Base	Relleno 1	Sub-rasante equivalente (*)
Percentil 15 de espesores	1	400 000	28 000	8 000	13 000	400 000	25 000	9 000	11 000
	2	400 000	28 000	11 000	13 500	400 000	28 000	10 000	11 500
	3	410 000	30 000	10 000	10 000	390 000	30 000	8 000	8 500
	4	350 000	22 000	6 000	8 500	370 000	18 000	6 000	7 250
Percentil 50 de espesores	1	400 000	24 000	8 000	12 500	350 000	22 000	7 000	10 500
	2	400 000	26 000	8 000	13 000	400 000	25 000	7 000	11 000
	3	400 000	26 000	9 000	10 000	350 000	25 000	8 000	9 000
	4	300 000	18 000	6 000	8 500	300 000	16 000	5 000	7 000

(\*) Módulo de rigidez equivalente para una capa de relleno (de espesor no cuantificado) sobre la sub-rasante.

### 3. CARACTERIZACION DE MATERIALES EXISTENTES.

#### 3.1. Capa asfáltica.

Seguidamente se evalúan algunas características particulares de la mezcla asfáltica colocada como superficie de ruedo en el tramo estudiado.

##### 3.1.1. Compactación de capa.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de densidad y vacíos considerando la variación longitudinal, en sitio.



En cada una de las tablas se presenta el porcentaje de cumplimiento respecto a la Disposición General AM-01-2000 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, la cual establece un rango de vacíos en sitio de  $5.5\% \pm 2.5\%$ .

**Nota:** para efectos de cálculo para contenido de vacíos en sitio (Tabla 4) se han usado tres escenarios de gravedad específica máxima teórica, con base en las muestras disponibles a lo largo del tramo. Al considerar tres percentiles dentro del rango de 15 % a 85 % en la curva de distribución de frecuencia para la totalidad del tramo, se cubre con un alto grado de confiabilidad el rango de variación esperado de la gravedad específica máxima teórica por estacionamiento.

**Tabla 4: Variación longitudinal de densidad y vacíos de sitio (\*).**

Sondeo	Tramo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Escenarios (% de vacíos)		
			Percentil 15 Gmm(**)	Percentil 50 Gmm(**)	Percentil 85 Gmm(**)
1	La Suiza - Tuis	2324	5.90	6.25	6.60
2	La Suiza - Tuis	2311	6.43	6.77	7.12
3	La Suiza - Tuis	2253	8.77	9.11	9.45
4	La Suiza - Tuis	2248	8.98	9.31	9.65
5	La Suiza - Tuis	2252	8.81	9.15	9.49
6	La Suiza - Tuis	2247	9.02	9.35	9.69
7	La Suiza - Tuis	2251	8.86	9.19	9.53
8	La Suiza - Tuis	2299	6.91	7.26	7.60
9	La Suiza - Tuis	2190	11.33	11.65	11.98
10	La Suiza - Tuis	2327	5.78	6.13	6.47
11	La Suiza - Tuis	2251	8.86	9.19	9.53
12	Tuis - Tayutic	2250	8.90	9.23	9.57
13	Tuis - Tayutic	2306	6.63	6.97	7.32
14	Tuis - Tayutic	2221	10.07	10.40	10.74
15	Tuis - Tayutic	2328	5.74	6.09	6.43
16	Tuis - Tayutic	2213	10.39	10.73	11.06
17	Tuis - Tayutic	2170	12.14	12.46	12.78
18	Tuis - Tayutic	2208	10.60	10.93	11.26
19	Tuis - Tayutic	2280	7.68	8.02	8.36
<b>Promedio</b>			8.51	8.85	9.19
<b>Desviación estándar</b>			1.91	1.90	1.89
<b>Porcentaje de cumplimiento</b>			39.13%	32.69%	26.62%

(\*) Los núcleos se extrajeron cada 400 m en el tramo La Suiza - Tayutic y cada 250 m en el tramo Tuis - Tayutic.

(\*\*) Gravedad específica máxima teórica.

Obsérvese que en ninguno de los escenarios de variación para la gravedad específica máxima teórica se ha encontrado un porcentaje de cumplimiento superior al 40 %, en cuanto a densificación de sitio. Dicha condición de vacíos de sitio correlaciona con la porosidad observada en la capa asfáltica.



La desviación estándar en el porcentaje de vacíos cuantificado en el sentido longitudinal es de 1.9%. La Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993, pp. III-53, establece un rango de variación típico de 0.75 a 1.50 %.

Las Tablas 5a y 5b muestran los resultados de variación para vacíos de sitio en el sentido transversal, para cuatro estacionamientos donde se realizaron sondeos de variación transversal (ver Figura 1). La Tabla 5a corresponde a las estaciones donde hay determinación de gravedad específica máxima teórica; la Tabla 5b corresponde a una estación (0+600) donde se han aplicado los escenarios de variación para gravedad específica máxima teórica del proyecto previamente definidos (las muestras para determinación de gravedad específica máxima teórica no pudieron tomarse por la destrucción de la sección ocasionada por la erosión del río en la margen derecha).

**Tabla 5a: Variación transversal en vacíos de sitio para estaciones 1+320, 2+000 y 2+500.**

Posición (*)	% de vacíos (**)		
	Est. 1+320	Est. 2+000	Est. 2+520
A	10.8	11.9	7.2
B	5.0	10.6	15.7
C	6.1	7.9	11.8
D	9.3	6.0	10.9
E	9.9	5.1	11.3
F	11.4	5.8	13.7
<b>Promedio</b>	8.8	7.9	11.8
<b>Desviación estándar</b>	2.6	2.8	2.9
<b>Porcentaje de cumplimiento</b>	34.72%	44.34%	10.91%

(\*) En la Figura 1 se muestra el esquema de puntos de sondeo por posición.

(\*\*) Estos porcentajes de vacíos corresponden a núcleos en el espesor total de la carpeta.

Nota: 0+000 en La Suiza.

**Tabla 5b: Variación transversal de densidad y vacíos de sitio para la estación 0+600.**

Estación	Posición (*)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Escenarios (% de vacíos) (**)		
			Percentil 15 Gmm	Percentil 50 Gmm	Percentil 85 Gmm
0+600	A	2250.8	8.86	9.20	9.54
	B	2258.4	8.56	8.90	9.23
	C	2275.0	7.88	8.22	8.56
	D	2093.5	15.23	15.55	15.86
	E	2308.2	6.54	6.89	7.23
	F	2108.9	14.61	14.92	15.24
<b>Promedio</b>			10.28	10.61	10.94
<b>Desviación estándar</b>			3.69	3.67	3.66
<b>Porcentaje de cumplimiento</b>			22.91%	20.81%	18.81%

(\*) En la Figura 1 se muestra el esquema de medición con el densímetro nuclear.

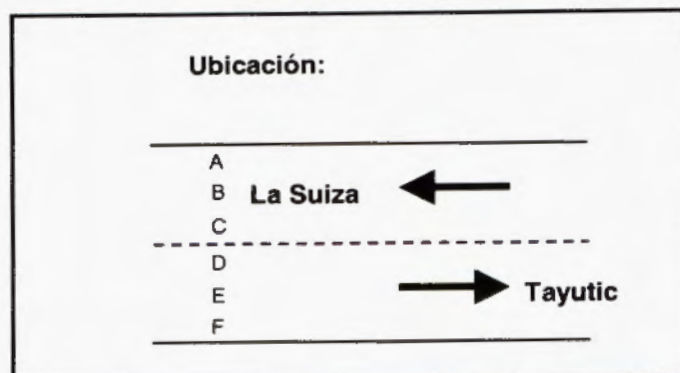
(\*\*) Estos porcentajes de vacíos corresponden a mediciones con el densímetro nuclear, calibrado para la sección transversal de interés.

Nota: 0+000 en La Suiza.

El nivel de variación transversal en el contenido de vacíos en sitio es mayor que en el sentido longitudinal. Hay desviaciones estándar en el contenido de vacíos de sitio de más de 2.6 % en el sentido transversal; mientras que la desviación estándar en el sentido longitudinal es 1.9 %.

Adicionalmente, se evidencia un bajo nivel de cumplimiento a las especificaciones de vacíos de la Disposición General AM-01-2000 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. En todos los casos el porcentaje de cumplimiento es inferior a 45%.





**Figura 1:** Esquema de extracción de núcleos y medición con equipo nuclear .

### 3.1.2. Variación del parámetro de gravedad específica máxima teórica.

En la Tabla 6 se presentan los valores de densidad máxima teórica obtenidos en diez sondeos al inicio del proyecto.

**Tabla 6: Variación de parámetro de densidad máxima teórica.**

Estacionamiento	Densidad máxima teórica (kg/m <sup>3</sup> )
1+218	2493
1+266	2486
1+315	2486
1+320	2472
1+757	2468
2+000	2469
2+150	2467
2+420	2485
2+520	2479
2+738	2484
Promedio	<b>2479</b>
Desv. Estándar	<b>9</b>
Percentil 15	<b>2470</b>
Percentil 85	<b>2488</b>

### 3.1.3. Variación en dosificación.

La Tabla 7 presenta los resultados de variación en contenido de asfalto y granulometría, obtenidos en siete puntos de sondeo seleccionados al inicio del proyecto (condición crítica de deterioro).

**Tabla 7: Contenido de asfalto en capa asfáltica.**

Parámetro	Estacionamiento						
	1+218	1+266	1+315	1+757	2+150	2+420	2+738
Contenido de asfalto PTM (%)	5.6	5.5	5.4	5.6	5.3	5.7	5.7
Contenido de asfalto PTA (%)	6.0	5.9	5.7	6.0	5.7	6.0	6.1
Promedio para contenido de asfalto PTM (%)	5.5						
Desviación estándar para contenido de asfalto PTM (%)	0.2						

La desviación estándar en contenido de asfalto se ubica dentro del rango típico sugerido por AASHTO (0.10 a 0.40 %). Se nota, sin embargo, discrepancia respecto al contenido de asfalto de diseño de esa fecha, para la planta de COMESA en Guápiles (5.85 % PTM).

La Tabla 8 presenta los resultados de análisis granulométrico para el agregado residual obtenido en los sondeos de mezcla asfáltica.

**Tabla 8: Granulometría de capa asfáltica.**

Malla	Porcentajes pasando por peso, por estacionamiento (%)							Promedio (%)	Desv. Estándar (%)
	1+218	1+266	1+315	1+757	2+150	2+420	2+738		
Malla 25.0 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Malla 19.0 mm	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Malla 12.7 mm	84.1	87.0	83.5	79.6	79.9	80.1	83.8	82.6	2.8
Malla 9.5 mm	72.6	76.6	75.4	67.8	67.3	67.6	71.2	71.2	3.8
Malla No. 4	49.7	54.2	51.6	47.7	47.2	47.4	49.6	49.6	2.6
Malla No. 8	34.9	38.2	37.5	34.5	34.8	34.3	36.8	35.9	1.6
Malla No. 16	25.1	27.5	27.4	24.9	25.9	25.1	27.4	26.2	1.2
Malla No. 30	18.5	20.1	20.8	18.8	19.3	18.3	20.1	19.4	0.9
Malla No. 50	13.9	14.9	15.1	13.1	14.5	13.4	14.8	14.2	0.8
Malla No. 100	10.3	11.1	11.5	9.8	10.9	9.8	10.9	10.6	0.7
Malla No. 200	8.5	8.9	9.5	7.6	9.0	7.7	8.6	8.5	0.7

**Nota:** se indican los porcentajes pasando, por peso de agregado.



Se observa un exceso de polvo mineral (agregado pasando el tamiz No. 200), dado que incluso el promedio excede el rango de especificación máximo (8.0 %). Dicho exceso de polvo mineral correlaciona con la carencia de compactación encontrada, en vista de que el polvo mineral puede rigidizar el "mastique" asfáltico, dificultando su compactación. La Tabla 9 presenta el contraste de dosificación para mezclas de sitio respecto al resultado de ensayos a muestras de planta.

**Tabla 9: Estimación de porcentajes de cumplimiento.**

Parámetro	Rango de aceptación según diseño de mezcla	Producción enero 2002 (*)			Producción febrero 2002 (*)			Proyecto La Suiza - Tayutic		
		Prom.	Desv. Estándar	% cump.	Prom.	Desv. Estándar	% cump.	Prom.	Desv. Estándar	% cump.
Contenido de asfalto PTM (%)	5.35 - 6.35	5.55	0.19	83.35	5.34	0.31	48.13	5.5	0.2	75.93
Malla 12.7 mm (**)	90 - 95	87.79	3.01	22.04	89.18	3.16	35.83	82.6	2.8	1.51
Malla 9.5 mm (**)	70 - 80	76.59	4.34	68.89	78.47	3.76	63.75	71.2	3.8	59.25
Malla No. 4 (**)	46 - 54	53.34	3.68	52.78	50.92	3.86	67.36	49.6	2.6	82.84
Malla No. 8 (**)	31 - 39	37.17	2.45	74.33	35.13	2.90	81.59	35.9	1.6	94.39
Malla No. 50 (**)	9 - 16	13.86	0.77	98.82	12.63	0.82	99.95	14.2	0.8	97.02
Malla No. 200 (**)	4.0 - 8.0	7.97	0.98	51.20	7.24	0.53	91.56	8.5	0.7	24.89

(\*) Planta COMESA de Guápiles.

(\*\*) Porcentajes pasando por peso de agregados.

Nótese que hay bajos niveles de cumplimiento en porcentaje de asfalto y porcentaje de agregado pasando el tamiz de 12.7 mm y contenido de polvo mineral (agregado pasando el tamiz No. 200)

### 3.1.4. Susceptibilidad al daño por humedad.

En la Tabla 10 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial retenida (inmersión - compresión). Los resultados presentados corresponden a remoldeo en el laboratorio, a partir del material muestreado.

**Tabla 10: Resistencia a la compresión uniaxial retenida.**

Estacionamiento	Número de pastilla	Pastillas condicionadas a 0 horas		Pastillas condicionadas a 24 horas		Resistencia retenida (%)
		% de vacíos	Resistencia (MPa)	% de vacíos	Resistencia (MPa)	
1+218	1	6.4	4.7	6.7	3.7	76.9%
	2	6.8	4.9	6.4	3.7	
	3	6.5	5.1	6.7	3.9	
	Promedio	<b>6.6</b>	<b>4.9</b>	<b>6.6</b>	<b>3.8</b>	
	Desv. Est.	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	
2+420	1	6.8	6.3	6.7	5.6	91.5%
	2	8.1	6.2	6.7	5.7	
	3	6.4	6.6	6.7	6.2	
	Promedio	<b>7.1</b>	<b>6.4</b>	<b>6.7</b>	<b>5.8</b>	
	Desv. Est.	<b>0.9</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	

Nota: resultados de remoldeo

A partir de los resultados de resistencia a la compresión uniaxial retenida no se encuentra evidencia de un incumplimiento en la mezcla colocada, respecto a este parámetro. Considérese, sin embargo, que el remoldeo únicamente evidenciaría situaciones extremas de incumplimiento, en vista de que las condiciones experimentales no son las normadas (se requiere agregado sin pasar por el quemador de la planta). En cuanto a la especificación para susceptibilidad al daño por humedad (resistencia retenida a la compresión uniaxial), por lo tanto, en este estudio no se puede ser concluyente.



### 3.2. Capas granulares.

#### 3.2.1. Capa de base granular.

La Tabla 11 presenta los resultados de análisis granulométrico para los agregados de base muestreados en el proyecto.

**Tabla 11: Resultados de ensayos de granulometría para base granular.**

Abertura (mm)	% Pasando							Promedio (%)	Desv. Estándar (%)
	Est. 1+218	Est. 1+266	Est. 1+315	Est. 1+757	Est. 2+150	Est. 2+420	Est. 2+738		
50.0	100	98	100	100	100	100	100	99.7	0.8
38.1	100	98	100	99	99	100	100	99.4	0.8
25.0	86	84	89	92	92	91	92	89.4	3.3
19.0	78	75	81	85	83	81	83	80.9	3.4
9.5	62	62	66	68	67	65	67	65.3	2.4
No. 4	52	51	55	55	55	52	56	53.7	2.0
No. 10	40	39	42	42	41	41	42	41.0	1.2
No. 40	16	16	19	19	20	22	21	19.0	2.3
No. 200	5	6	8	9	10	11	11	8.6	2.4

La Tabla 12 presenta los resultados de índice de plasticidad, densidad máxima y CBR para las muestras de agregados de base.

**Tabla 12: Resultados de ensayos de límites de Atterberg, proctor y CBR para base granular.**

Abertura (mm)	Límites de Atterberg						
	Est. 1+218	Est. 1+266	Est. 1+315	Est. 1+757	Est. 2+150	Est. 2+420	Est. 2+738
Índice de plasticidad (%)	NP	NP	5.2	NP	7.4	4.8	4.1
Densidad máxima (kg/m <sup>3</sup> )	2184	2158	2196	2224	2182	2172	2168
CBR laboratorio (%)	70%	63%	94%	50%	47%	71%	57%

Nota: Densidad máxima de acuerdo con ensayo Proctor Modificado.

El detalle de los resultados de ensayos de laboratorio se presenta en el Anexo I.

Se nota una considerable variación en la capacidad de soporte y plasticidad en la capa de base a lo largo del proyecto.

Nótese una capacidad de soporte inferior a la especificada en seis de siete casos evaluados. CBR debería ser superior o igual a 80 % de acuerdo con las Especificaciones generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes.

### 3.2.2. Capas de relleno.

La Tabla 13 presenta los resultados de caracterización para el material de relleno No. 1; la Tabla 14 presenta los resultados correspondientes para el material de relleno No. 2

**Tabla 13: Resultados de ensayos de límites de Atterberg, proctor y CBR para relleno 1.**

Propiedad	Límites de Atterberg						
	Est. 1+218	Est. 1+266	Est. 1+315	Est. 1+757	Est. 2+150	Est. 2+420	Est. 2+738
Índice de plasticidad	9.4%	4.9%	8.7%	6.8%	8.2%	7.7%	5.5%
Densidad máxima (PM)	2188 kg/m <sup>3</sup>	2164 kg/m <sup>3</sup>	2146 kg/m <sup>3</sup>	2136 kg/m <sup>3</sup>	2135 kg/m <sup>3</sup>	2184 kg/m <sup>3</sup>	2148 kg/m <sup>3</sup>
CBR laboratorio	37%	70%	63%	42%	72%	58%	85%

Nota: Proctor modificado.

**Tabla 14: Resultados de ensayos de límites de Atterberg, proctor y CBR para relleno 2.**

Propiedad	Límites de Atterberg						
	Est. 1+218	Est. 1+266	Est. 1+315	Est. 1+757	Est. 2+150	Est. 2+420	Est. 2+738
Índice de plasticidad	4.7%	NP	4.5%	5.2%	4.3%	5.0%	-
Densidad máxima (PM)	-	2210 kg/m <sup>3</sup>	2132 kg/m <sup>3</sup>	2225 kg/m <sup>3</sup>	2188 kg/m <sup>3</sup>	2178 kg/m <sup>3</sup>	-
CBR laboratorio	-	97%	30%	-	38%	38%	-

Nota: Proctor modificado.

Se observa una capacidad de soporte de al menos 30% (CBR) en las capas de relleno.



## 4. OPCIONES DE REHABILITACIÓN

### 4.1. Capacidad estructural existente.

En la Tabla 15 se presentan los coeficientes estructurales AASHTO para el paquete estructural existente y para cada uno de los escenarios analizados:

- a) Dos niveles de deflexión,
- b) Dos percentiles de espesor

**Tabla 15: Coeficientes estructurales para el paquete estructural existente.**

Espesores	Segmento homogéneo	Percentil 70 de deflexiones.			Percentil 85 de deflexiones.		
		Concreto Asfáltico	Base	Relleno 1	Concreto Asfáltico	Base	Relleno 1
Percentil 15 de espesores	1	0.40	0.13	0.07	0.40	0.12	0.07
	2	0.40	0.13	0.08	0.40	0.13	0.07
	3	0.40	0.14	0.07	0.40	0.14	0.07
	4	0.38	0.11	0.06	0.39	0.09	0.06
Percentil 50 de espesores	1	0.40	0.11	0.07	0.38	0.11	0.06
	2	0.40	0.12	0.07	0.40	0.12	0.06
	3	0.40	0.12	0.07	0.38	0.12	0.07
	4	0.35	0.09	0.06	0.35	0.07	0.06

La Tabla 16 presenta los números estructurales para el pavimento existente.

**Tabla 16: Número estructural existente.**

Espesores	Segmento homogéneo	Número estructural existente (SN)	
		Percentil 70 de deflexiones.	Percentil 85 de deflexiones.
Percentil 15 de espesores	1	2.21	2.12
	2	2.27	2.21
	3	2.30	2.30
	4	1.94	1.78
Percentil 50 de espesores	1	2.54	2.42
	2	2.65	2.57
	3	2.65	2.61
	4	2.15	1.94

Obsérvese que el número estructural correspondiente a una capa asfáltica de 4.0 cm, una base granular de 35.0 cm especificados y un relleno de 20.0 cm es 3.10.

#### 4.2. Espesor de sobrecapa por escenario de carga.

Debido a que no hay conteos de tránsito en las bases de datos del MOPT, y no fue posible realizar conteos en la vía (por estar la carretera fuera de servicio en octubre de 2002), se plantean tres escenarios de cargas, considerando que el tránsito frecuente en el tramo no es de alto volumen ni carga:

- Medio millón de ejes simples equivalentes de 8200 kg.
- Un millón de ejes simples equivalentes de 8200 kg.
- Dos millones de ejes simples equivalentes de 8200 kg.

Nota: el nivel de tránsito pesado es poco, en el proyecto.

Considerando los siguientes parámetros, se determinó la capacidad estructural requerida para cada escenario de carga, de acuerdo con la metodología AASHTO 1993.

- Nivel de confianza: 85 %.
- Índice de servicio terminal (psi): 2.0.
- Desviación estándar para modelo de estimación de índice de servicio terminal: 0.45.



Para cada escenario de carga y cada segmento homogéneo se formularon dos opciones de rehabilitación, con el propósito de compensar los problemas de desempeño relacionados con la patología del pavimento (fundamentalmente relacionada con durabilidad), y proveer suficiente capacidad estructural para cumplir con los escenarios de carga planteados.

- Opción A: Colocación de una sobrecapa.
- Opción B: Estabilización parcial con emulsión asfáltica (15.0 cm) y sobrecapa.

A partir de la capacidad estructural requerida por escenario de carga, se calcularon los espesores de sobrecapa de la Tabla 17. El Anexo III presenta las memorias de cálculo correspondientes.

**Tabla 17: Espesores de sobrecapa (cm) requeridos a partir de metodología AASHTO 1993. Opción A.**

Segmento	Ejes equivalentes de diseño		
	0.5 millón	1 millón	2 millones
1	4.0 (*)	4.0 (*)	4.5
2	4.0 (*)	4.0 (*)	4.0
3	4.0 (*)	4.0 (*)	4.0
4	4.0 (*)	5.5	7.5

(\*) Espesor mínimo de sobrecapa requerido.

Adicionalmente, se consideró la estabilización de 15.0 cm de pavimento existente y la colocación de una sobrecapa, de acuerdo con la Tabla 18. El Anexo III presenta las memorias de cálculo correspondientes.

**Tabla 18: Espesores de sobrecapa (cm) requeridos a partir de metodología AASHTO 1993, a colocar sobre base estabilizada con emulsión asfáltica de 15.0 cm. Opción B.**

Segmento	Ejes equivalentes de diseño		
	0.5 millón	1 millón	2 millones
1	4.0 (*)	4.0 (*)	4.5
2	4.0 (*)	4.0 (*)	4.5
3	4.0 (*)	4.0 (*)	4.5
4	4.0 (*)	4.5	6.5

(\*) Espesor mínimo de sobrecapa requerido.

### 4.3. Verificación de capacidad por agrietamiento debido a la fatiga y deformación plástica a nivel de sub-rasante.

Se seleccionaron los segmentos homogéneos 2 (mejor condición en términos relativos a los restantes) y 4 (condición más desfavorable en términos relativos a los restantes), con el propósito de verificar la capacidad de la estructura de pavimento, de acuerdo con el Apartado 4.2., por agrietamiento a la fatiga en la capa asfáltica y deformación plástica en la superficie de la sub-rasante.

La Tabla 19 presenta los resultados correspondientes.

**Tabla 19: Verificación de capacidad por agrietamiento debido a la fatiga y deformación plástica a nivel de sub-rasante.**

Segmento	Escenario de espesores	Estrategia de rehabilitación		Capacidad al agrietamiento por fatiga		Capacidad a la deformación plástica	
		Tipo	Espesor de capa superior	$\epsilon_t$ (E-6)	$N_f$ (*)	$\epsilon_v$ (E-6)	$N_r$ (**)
2	Pctil. 50	Sobrecapa	5.5 cm	407	190000	341	14300000
			7.5 cm	348	320000	299	24300000
			10.0 cm	288	590000	x	x
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	7.0 cm	293	1300000	243	55600000
			9.0 cm	256	2000000	219	84300000
	Pctil. 15	Sobrecapa	5.5 cm	436	150000	458	4400000
			7.5 cm	371	260000	392	8200000
			10.0 cm	310	460000	332	16000000
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	7.0 cm	290	1330000	327	17000000
9.0 cm			253	2080000	293	26300000	
4	Pctil. 50	Sobrecapa	8.5 cm	418	170000	489	3400000
			10.5 cm	354	300000	420	6200000
			13.0 cm	290	580000	348	13200000
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	8.5 cm	303	1150000	296	25300000
			10.5 cm	265	1790000	261	41800000
	Pctil. 15	Sobrecapa	8.5 cm	424	160000	385	8800000
			10.5 cm	357	290000	333	15800000
			13.0 cm	291	570000	280	31600000
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	8.5 cm	305	1130000	364	11100000
	10.5 cm	261	1880000	319	18700000		

(\*) Criterio PDMAP para un 45 % de área agrietada.

(\*\*) Criterio Shell para un 85 % de confianza.



Obsérvese como los espesores de sobrecapa requieren de un incremento adicional para aproximarse a las expectativas de vida útil por agrietamiento a la fatiga según el modelo de deterioro considerado (PDMAP al 45% de agrietamiento). Así, los espesores de sobrecapa diseñados por AASHTO requieren los siguientes incrementos:

- Incremento de aproximadamente 5.0 cm en el caso de sobrecapas a apoyar sobre la estructura de pavimento actual.
- Incremento de aproximadamente 3.0 cm en el caso de sobrecapas colocadas sobre bases estabilizadas con emulsión.

#### **4.3. Recomendaciones finales de rehabilitación.**

De acuerdo con la valoración de capacidad estructural y de vida útil por agrietamiento a la fatiga y deformabilidad, se recomiendan dos cursos alternativos de acción, listados en orden de idoneidad.

- A. Estabilización con emulsión asfáltica en un espesor de 15.0 cm del pavimento existente y colocación de sobrecapa. (Estrategia para un millón de ejes equivalentes de diseño).
  - Sobrecapa de 7.0 cm en los segmentos homogéneos 1, 2 y 3.
  - Sobrecapa de 8.5 cm en el segmento homogéneo 4.
  
- B. Bacheo mayor y sello del pavimento existente; con la colocación de una sobrecapa. (Estrategia para medio millón de ejes equivalentes de diseño).
  - De previo a la aplicación de una sobrecapa, conviene identificar, escarificar y reparar (baches) las áreas de pavimento con mayor infiltración de agua.
  - Construcción de sello superficial ("fog seal"); a partir de la aplicación de una emulsión de rompimiento lento.
  - Sobrecapa de 10.0 cm en los segmentos homogéneos 1, 2 y 3.
  - Sobrecapa de 13.0 cm en el segmento homogéneo 4.
  - Monitoreo periódico, con colocación oportuna de sello asfáltico (cuando se presenten primeras fisuras). Con el propósito de aminorar el deterioro por fatiga, en vista de la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga relacionada con esta estructura de pavimento particular.

Mayores cargas de tránsito requerirán una revaloración de las propuestas formuladas.

Alternativamente, con propósito de proveer el número estructural originalmente especificado, correspondiente a una capa asfáltica de 4.0 cm, una base granular de 35.0 cm y un relleno de 20.0 cm, se presenta un curso de acción adicional (Opción C.). Entiéndase, sin embargo, que dicho paquete estructural es susceptible al agrietamiento por fatiga.

- C. Recuperación y refuerzo estructural para cumplir con número estructural inicialmente requerido (4.0 cm de carpeta, 35.0 cm de base y 20.0 cm de relleno), de acuerdo con especificaciones de construcción del proyecto):
- De previo a la aplicación de las sobrecapas, se requiere identificar, escarificar y reparar (baches) las áreas de pavimento con mayor infiltración de agua.
  - Sobrecapa de 5.5 cm en los segmentos homogéneos 1, 2 y 3.
  - Sobrecapa de 7.5 cm en el segmento homogéneo 4.
  - Monitoreo periódico, con colocación oportuna de un refuerzo estructural cuando se presenten primeras fisuras. Con el propósito de aminorar el deterioro por fatiga, en vista de la alta susceptibilidad al agrietamiento por fatiga relacionada con esta estructura de pavimento particular.



## 5. CONCLUSIONES

Respecto a la condición del pavimento existente:

- La capa asfáltica no está densificada de acuerdo con especificaciones (vacíos entre 3.0 y 8.0 %). El nivel de cumplimiento para contenido de vacíos de sitio es inferior al 40 % (60 % o más fuera de especificaciones) y hay una dispersión alta, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal (especialmente).
- La capa asfáltica evidencia diferencias significativas respecto a la dosificación de diseño. Hay desviación en contenido de asfalto (inferior al valor de diseño) y granulometría. Particularmente es de relevancia fundamental el alto contenido de polvo mineral (afuera del rango especificado).
- Hay evidencia, por tanto, de segregación durante el proceso productivo/constructivo, a nivel de segregación granulométrica (al contrastar los parámetros de dosificación de planta con los de la mezcla muestreada en sitio) y segregación térmica (con base en la alta dispersión en vacíos de sitio).
- Los sondeos realizados (Estacionamiento 1+218 a 2+738) evidencian menores espesores para las capas de base (promedio de 26.7 cm) que los requeridos por la Administración (35.0 cm).

Respecto a estrategias de rehabilitación:

- Considérense las tres estrategias de rehabilitación del Apartado 4.3., tomando en cuenta las recomendaciones planteadas en cuanto a cargas de diseño y capacidad de resistencia al agrietamiento por fatiga. Tómese en cuenta que de previo a la aplicación de las medidas de rehabilitación sugeridas es conveniente una verificación de cargas de diseño: conteos y proyecciones.

## **Anexo I**

### **Perfiles del pavimento, sondeos a cielo abierto**



**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**  
**DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

PROYECTO: La Suiza - Tayutic  
 RUTA: 414

UBICACIÓN: 1+218

FECHA DE MUESTREO: 19/ago/02.

SONDEO #1B

N° muestra

(\*) 1244-02: capa asfáltica

(\*) 1238-02: base granular

(\*) 1239-02: relleno #1

(\*) 1240-02: relleno #2

(\*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																																						
6.0	Capa Asfáltica	Se nota deformación en la capa asfáltica y exposición de base.																																																						
25.0	Base granular	<p>Agregado de río de color gris cafezusco claro, muy compacto con partículas redondeadas.</p> <p>W natural: 6.72 %                      Densidad en sitio: 99.4 %                      W óptima: 6.5 %                      Densidad máx (PM): 2184 kg/m<sup>3</sup>                      CBR lab. al 95% (0.1") = 70%                      CBR lab. al 95% (0.2") = 100%</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: NP                      LP: NP                      IP: NP</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <td>50.000</td> <td>38.100</td> <td>25.000</td> <td>19.000</td> <td>9.500</td> <td>4.750</td> <td>2.000</td> <td>0.430</td> <td>0.075</td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>86</td> <td>78</td> <td>62</td> <td>52</td> <td>40</td> <td>16</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </thead></table>	Granulometría (% pasando)										Abertura (mm)										50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075		100	100	86	78	62	52	40	16	5															
Granulometría (% pasando)																																																								
Abertura (mm)																																																								
50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																																																
100	100	86	78	62	52	40	16	5																																																
15.0	Relleno #1	<p>Agregado de tajo de color gris claro, de partícula redondeada, contiene rastros de material arcilloso.</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: 21.5%                      LP: 12.1%                      IP: 9.4%</p> <p>W óptima: 5.8 %                      Densidad máx (PM): 2188 kg/m<sup>3</sup>                      CBR lab. al 95% (0.1") = 37%                      CBR lab. al 95% (0.2") = 47%</p>																																																						
40.0	Relleno #2	<p>Agregado de tajo de color gris claro, poco graduado, contiene roca muy compacta, prevalece parte fina ligeramente contaminado de limo color café claro.</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: 19.0%                      LP: 14.3%                      IP: 4.7%</p> <p>W natural: 6.09 %</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <td>163.00</td> <td>150.00</td> <td>113.00</td> <td>100.00</td> <td>90.00</td> <td>75.00</td> <td>63.00</td> <td>50.00</td> <td>38.00</td> <td>25.00</td> </tr> <tr> <td>92</td> <td>89</td> <td>83</td> <td>80</td> <td>77</td> <td>75</td> <td>68</td> <td>64</td> <td>58</td> <td>48</td> </tr> </thead></table> <p align="center">Continuación granulometría</p> <table border="1"> <tr> <td>19.00</td> <td>12.50</td> <td>9.50</td> <td>4.75</td> <td>2.00</td> <td>0.43</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>36</td> <td>32</td> <td>27</td> <td>22</td> <td>13</td> <td>6</td> </tr> </table> <p>* El sondeo se detuvo a 86 cm de profundidad total.</p>	Granulometría (% pasando)										Abertura (mm)										163.00	150.00	113.00	100.00	90.00	75.00	63.00	50.00	38.00	25.00	92	89	83	80	77	75	68	64	58	48	19.00	12.50	9.50	4.75	2.00	0.43	0.08	42	36	32	27	22	13	6
Granulometría (% pasando)																																																								
Abertura (mm)																																																								
163.00	150.00	113.00	100.00	90.00	75.00	63.00	50.00	38.00	25.00																																															
92	89	83	80	77	75	68	64	58	48																																															
19.00	12.50	9.50	4.75	2.00	0.43	0.08																																																		
42	36	32	27	22	13	6																																																		



**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**  
**DESCRIPCIÓN DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

PROYECTO: La Suiza - Tayutic  
 RUTA: 414

UBICACIÓN: 2+150

FECHA DE MUESTREO: 13/ago/02.

SONDEO #1C

N° muestra

(\*) 1209-02 1C: capa asfáltica

(\*) 1211-02: base granular

(\*) 1213-02: relleno #1

(\*) 1214-02: relleno #2

(\*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																								
4.5	Capa Asfáltica	Se nota deformación en la capa asfáltica y exposición de base.																																								
50.0	Base granular	<p>Agregado (río) color gris verduzco, material ligeramente quebrado, contiene material fino con cierto grado arcilloso y de grano muy fino.</p> <p>W natural: 5.89 %                      Densidad en sitio: &gt; 100 %                      W óptima: 7.3 %                      Densidad máx (PM): 2182 kg/m<sup>3</sup>                      CBR lab. al 95% (0.1") = 47%                      CBR lab. al 95% (0.2") = 78%</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: 19.6                      LP: 12.2                      IP: 7.4</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="10">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Abertura (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50.000</td> <td>38.100</td> <td>25.000</td> <td>19.000</td> <td>9.500</td> <td>4.750</td> <td>2.000</td> <td>0.430</td> <td colspan="2">0.075</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>99</td> <td>92</td> <td>83</td> <td>67</td> <td>55</td> <td>41</td> <td>20</td> <td colspan="2">10</td> </tr> </tbody> </table>	Granulometría (% pasando)										Abertura (mm)										50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075		100	99	92	83	67	55	41	20	10	
Granulometría (% pasando)																																										
Abertura (mm)																																										
50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																																		
100	99	92	83	67	55	41	20	10																																		
20.0	Relleno #1	<p>Agregado de tajo, color gris verduzco claro, poco material grueso, predomina material fino ligeramente contaminado de grano poco fino.</p> <p>W natural: 7.76 %                      W óptima: 6.4 %                      Densidad máx (PM): 2135 kg/m<sup>3</sup>                      CBR lab. al 95% (0.1") = 72%                      CBR lab. al 95% (0.2") = 80%</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: 21.0                      LP: 12.8                      IP: 8.2</p>																																								
15.0	Relleno #2	<p>Agregado (río) color café grisáceo claro, poco graduado, de partícula gruesa medianamente redondeada, con alto contenido de finos de grano muy fino.</p> <p>W natural: 7.33 %                      W óptima: 6.8 %                      Densidad máx (PM): 2188 kg/m<sup>3</sup>                      CBR lab. al 95% (0.1") = 38%                      CBR lab. al 95% (0.2") = 53%</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG                      LL: 17.17                      LP: 12.8                      IP: 4.3</p> <p>* El sondeo se detuvo a 90 cm de profundidad total.</p>																																								



## **Anexo II**

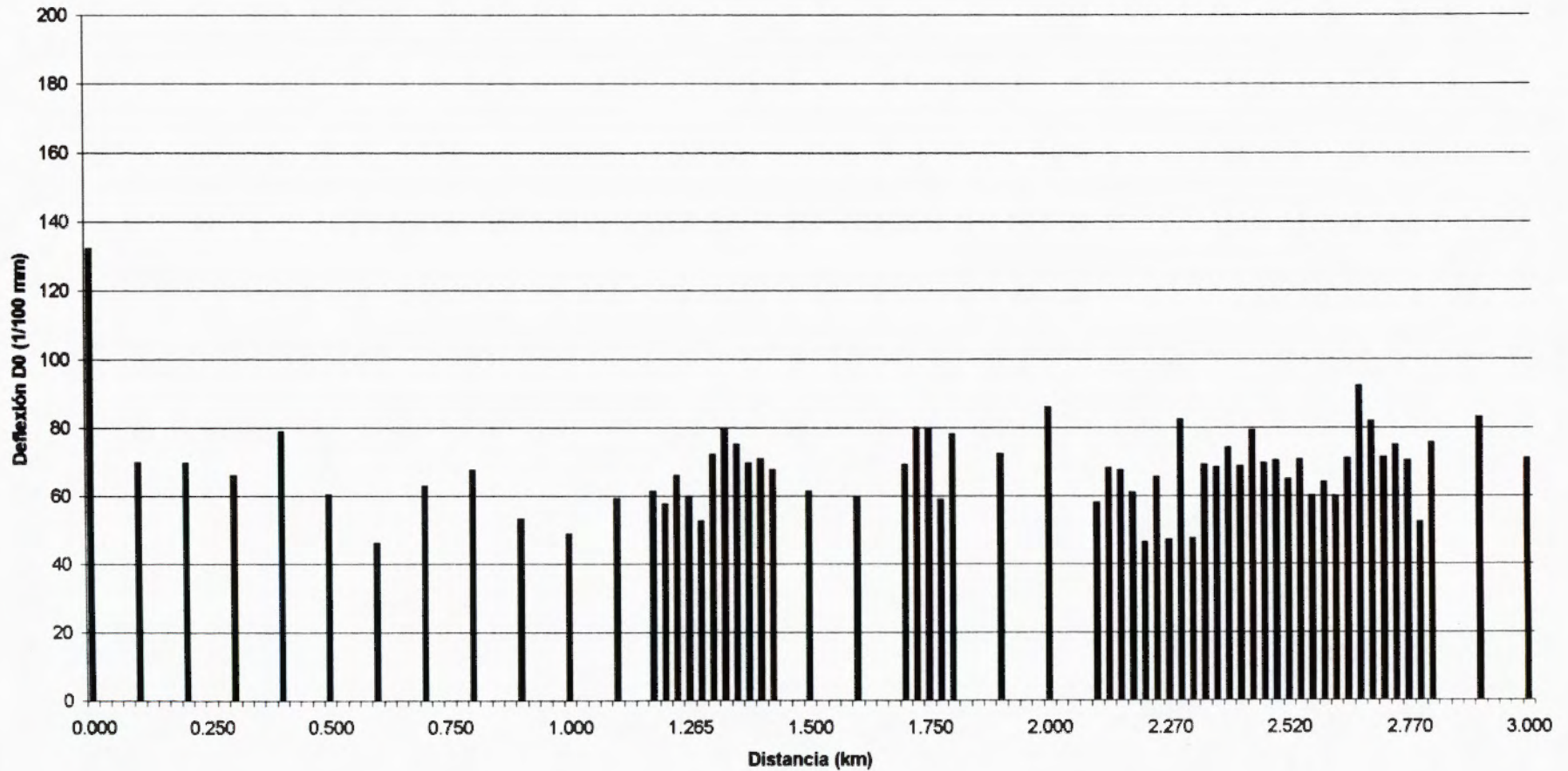
### **Deflectometría de impacto (FWD)**

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES  
ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA  
Deflectómetro de impacto

PROYECTO: LA SUIZA - TAYUTIC  
RUTA No: 414  
TRAMO: 0+000 - 9+000  
MEDICIONES CADA 100 METROS

SENTIDO: La Suiza - Tayutic  
CARRIL: Único  
FECHA : 22 agosto del 2002

Deflexión vrs Distancia





**DIMENSIONAMIENTO DE UNA SOBRECAPA POR METODO AASHTO: LA SUIZA - TUIS - TAYUTIC**

**Tabla A1: Retrocálculo de módulos de rigidez.**

**ESCENARIOS PARA ESPESOR DE CAPA EXISTENTE (cm):**

Espesor de capa (cm)	Percentil 70 de deflexiones						Percentil 85 de deflexiones					
	Percentil 50 de espesor			Percentil 15 de espesor			Percentil 50 de espesor			Percentil 15 de espesor		
	Carp.	Base	SB	Carp.	Base	SB	Carp.	Base	SB	Carp.	Base	SB
	5,3	26,7	20	4	22,6	15,5	5,3	26,7	20	4	22,6	15,5

**MODULOS DE RIGIDEZ RETROCALCULADOS (psi):**

Segmento	Percentil 70 de deflexiones								Percentil 85 de deflexiones							
	Percentil 50 de espesor				Percentil 15 de espesor				Percentil 50 de espesor				Percentil 15 de espesor			
	Carp.	Base	SB	SR	Carp.	Base	SB	SR	Carp.	Base	SB	SR	Carp.	Base	SB	SR
	1	400000	24000	8000	12500	400000	28000	8000	13000	350000	22000	7000	10500	400000	25000	9000
2	400000	26000	8000	13000	400000	28000	11000	13500	400000	25000	7000	11000	400000	28000	10000	11500
3	400000	26000	9000	10000	410000	30000	10000	10000	350000	25000	8000	9000	390000	30000	8000	8500
4	300000	18000	6000	8500	350000	22000	6000	8500	300000	16000	5000	7000	370000	18000	6000	7250

**ESTABILIZACION Y SOBRECAPA: LA SUIZA - TUIS - TAYUTIC**

**Tabla A6: Cálculo de espesor de sobrecapa.**

ESCENARIOS DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL REQUERIDA:

Escenario	EEQ1	EEQ2	EEQ3
EEQ (E6)	1,0	2,0	3,0

SN REQUERIDO POR SEGMENTO

	Percentil 70 de deflexiones						Percentil 85 de deflexiones					
	Percentil 50 de esp.			Percentil 15 de esp.			Percentil 50 de esp.			Percentil 15 de esp.		
	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3
1	2,40	2,67	2,97	2,36	2,63	2,93	2,55	2,84	3,16	2,51	2,79	3,1
2	2,36	2,63	2,93	2,33	2,6	2,89	2,51	2,79	3,10	2,47	2,75	3,06
3	2,6	2,89	3,21	2,6	2,89	3,21	2,70	3,00	3,33	2,75	3,06	3,4
4	2,75	3,06	3,4	2,75	3,06	3,4	2,95	3,28	3,63	2,91	3,24	3,59

NUMERO ESTRUCTURAL ADICIONAL REQUERIDO:

TRAMO	Percentil 70 de deflexiones						Percentil 85 de deflexiones					
	Percentil 50 de esp.			Percentil 15 de esp.			Percentil 50 de esp.			Percentil 15 de esp.		
	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3
1	1,11	1,38	1,68	1,34	1,61	1,91	1,34	1,63	1,95	1,53	1,81	2,12
2	1,05	1,32	1,62	1,28	1,55	1,85	1,27	1,56	1,88	1,49	1,77	2,08
3	1,05	1,32	1,62	1,29	1,56	1,86	1,20	1,49	1,81	1,44	1,72	2,03
4	1,33	1,60	1,90	1,49	1,76	2,06	1,61	1,90	2,22	1,73	2,01	2,32



**ESTABILIZACION Y SOBRECAPA: LA SUIZA - TUIS - TAYUTIC**

Coefficiente estructural de capa estabilizada? **0,2**

**Tabla A6 (Cont): Cálculo de espesor de sobrecapa.**

ESPESOR DE SOBRECAPA POR TRAMO (cm) Y POR ESCENARIO DE DISEÑO:

TRAMO	Percentil 70 de deflexiones						Percentil 85 de deflexiones					
	Percentil 50 de esp.						Percentil 50 de esp.			Percentil 15 de esp.		
	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ3	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ1	EEQ2	EEQ3
1	0,0	1,2	3,0	1,0	2,6	4,4	1,0	2,7	4,7	2,1	3,8	5,7
2	0,0	0,8	2,6	0,6	2,2	4,0	0,6	2,3	4,3	1,9	3,6	5,4
3	0,0	0,8	2,6	0,7	2,3	4,1	0,1	1,8	3,8	1,6	3,3	5,2
4	0,0	2,5	4,3	1,9	3,5	5,3	2,6	4,3	6,3	3,3	5,0	6,9