

EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EN EL TRAMO JUAN VIÑAS - TURRIALBA

1. OBJETIVO

Establecer elementos de juicio sobre el deterioro experimentado por las obras de mantenimiento, consistentes en el reemplazo de la superficie de rudo existente, por una capa asfáltica de 5.0 cm.

Las Figuras 1 y 2 ilustran el patrón típico de deterioro actual. Nótese el desplazamiento plástico asociado con el agrietamiento superficial, y el desprendimiento de agregados.

La Figura 3 ilustra la porosidad de la capa asfáltica. Nótese la presencia de humedad particularmente evidente en las zonas donde los árboles proyectan su sombra durante varias horas del día.



Figura 1: Agrietamiento superficial.

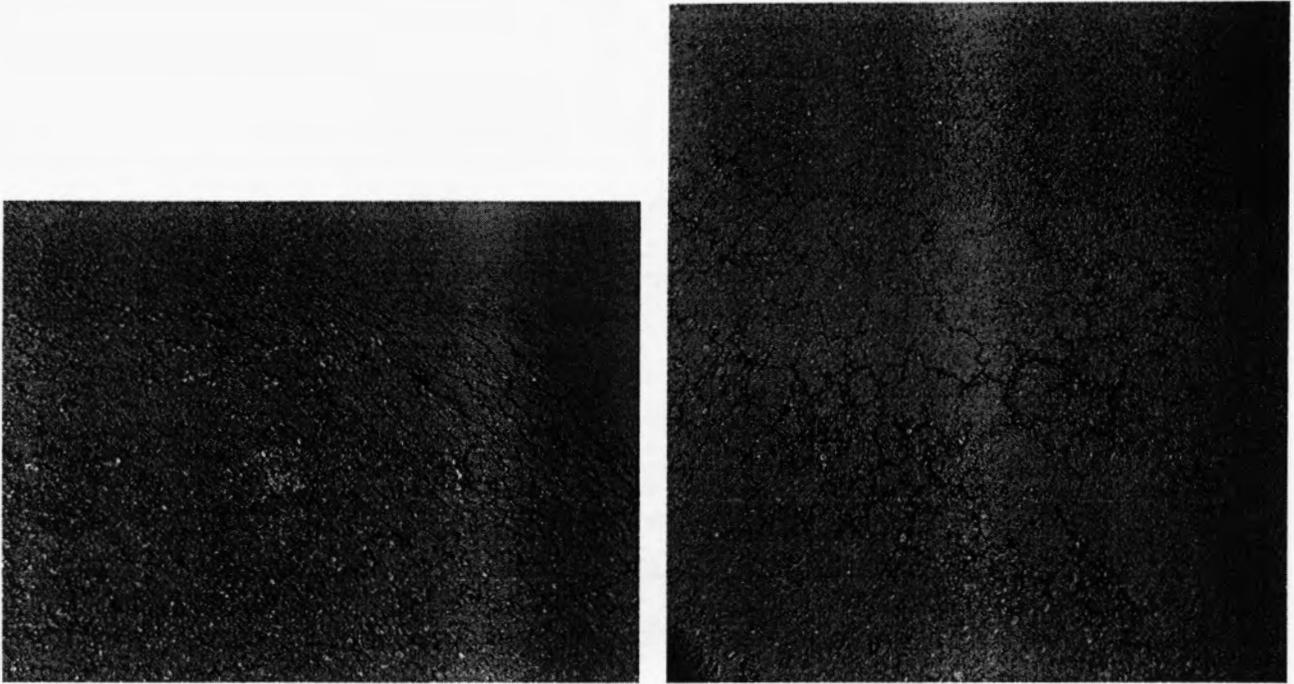


Figura 2: Deformación plástica y agrietamiento.



Figura 3: Porosidad de capa asfáltica.

2. COMPOSICIÓN DE ESTRUCTURA EXISTENTE

El tramo de estudio consta de aproximadamente 5.2 km, iniciando en Juan Viñas. Los trabajos de mantenimiento consistieron en la aplicación de una sobrecapa de 5.0 cm, previa remoción de la superficie de ruedo anterior.

2.1. Espesores.

Los espesores de capa encontrados en los sondeos para este estudio 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 existentes son inferiores.
- Percentil 50. De manera que el 50 % de espesores de capa existentes 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 capa.

Segmento (*)	Capa	Sondeo de espesores		Escenarios de evaluación	
		Promedio (cm)	Desv. Estándar (cm)	Percentil 15 de espesores (cm)	Percentil 50 de espesores (cm)
Sección típica	Concreto asfáltico	6.1	0.9	5.2	6.1
	Base granular	20.6	3.7	16.9	20.6
	Sub-base	28.6	12.9	15.7	28.6
	Relleno	22.0	13.2	8.8	22.0
	Subrasante	-	-	-	-

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

De acuerdo con la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993, pp. III-53, las desviaciones estándar típicas (EUA), 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.

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 20 de agosto del 2002, la totalidad del pavimento se separó en segmentos homogéneos; es decir, tramos con una respuesta estructural diferenciada.

El parámetro de separación fue la deflexión medida al aplicarse una carga de 4100 kg, usando dos sensores de deformación a lo largo de la curva deformada en la superficie de pavimento:

- Debajo del plato de carga.
- A una distancia de 300 mm a partir del plato de carga.

El nivel de confianza estadística para la separación es del 95 %.

La Tabla 2 presenta los diferentes segmentos homogéneos seleccionados.

Tabla 2: Segmentos homogéneos a partir de la deflectometría de impacto (FWD).

Segmento homogéneo	Estacionamiento		Deflexión bajo el plato de carga (E-2 mm)	
	Inicio	Fin	Promedio	Desviación estándar
Tramo A1	0+000	0+850	55.81	11.08
Tramo B1	0+900	4+200	69.40	17.00
Tramo B2	4+300	5+115	81.11	13.95

Nota: 0+000 en Juan Viñas.

El Anexo I 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.

Espesores	Segmento homogéneo	Percentil 70 de deflexiones.					Percentil 85 de deflexiones.				
		Concreto Asfáltico	Base	Subbase	Relleno	Subrasante (*)	Concreto Asfáltico	Base	Subbase	Relleno	Subrasante (*)
Percentil 15 de espesores	Tramo A1	400 000	35 000	25 000	15 000	9 000	400 000	35 000	25 000	15 000	8 000
	Tramo B1	400 000	30 000	22 000	12 000	6 000	350 000	30 000	20 000	10 000	10 500
	Tramo B2	350 000	30 000	20 000	11 000	4 750	350 000	28 000	16 000	9 000	4 500
Percentil 50 de espesores	Tramo A1	400 000	32 000	25 000	15 000	8 000	400 000	30 000	22 000	12 000	7 000
	Tramo B1	350 000	26 000	20 000	12 000	6 000	300 000	24 000	16 000	12 000	10 500
	Tramo B2	330 000	24 000	18 000	11 000	4 750	280 000	20 000	16 000	11 000	4 500

(*) Módulo de rigidez factorado por variación estacional de módulos. Unidades de "psi".

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 se han usado tres escenarios de gravedad específica máxima teórica (Tabla 4), 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 la gravedad específica máxima teórica por estacionamiento.

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

Estación	Tramo	Densidad	Escenarios (% de vacíos)		
			Percentil 15 Gmm (**)	Percentil 50 Gmm (**)	Percentil 85 Gmm (**)
1	Juan Viñas - Turrialba	2369	3.8	4.4	5.0
2	Juan Viñas - Turrialba	2362	4.1	4.7	5.3
3	Juan Viñas - Turrialba	2161	12.3	12.8	13.4
4	Juan Viñas - Turrialba	2199	10.7	11.3	11.8
5	Juan Viñas - Turrialba	2256	8.4	9.0	9.5
6	Juan Viñas - Turrialba	2351	4.6	5.1	5.7
7	Juan Viñas - Turrialba	2270	7.8	8.4	9.0
8	Juan Viñas - Turrialba	2264	8.1	8.6	9.2
9	Juan Viñas - Turrialba	2252	8.6	9.1	9.7
10	Juan Viñas - Turrialba	2301	6.6	7.1	7.7
11	Juan Viñas - Turrialba	2342	4.9	5.5	6.1
12	Juan Viñas - Turrialba	2280	7.4	8.0	8.6
13	Juan Viñas - Turrialba	2375	3.6	4.2	4.8
Promedio			7.0	7.6	8.1
Desviación estándar			2.7	2.7	2.7
Porcentaje de cumplimiento			55.7%	50.6%	44.0%

(*) Los núcleos se extrajeron cada 300 m.

(**) 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 56 %, 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 2.7 %. La Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993, pp. III-53, establece un rango de desviación estándar típica de 0.75 a 1.50 %.

Nótese, adicionalmente, que el nivel de dispersión en el parámetro de vacíos de sitio para este tramo (desviación estándar de 2.7 %) es muy superior al correspondiente al tramo La Suiza – Tayutic, que corresponde al mismo contratista y misma mezcla asfáltica (desviación estándar de 1.9 %).

Las Tablas 5a y 5b muestran los resultados de variación para vacíos de sitio en el sentido transversal, para siete 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 las estaciones donde se han aplicado los escenarios de variación para gravedad específica máxima teórica del proyecto previamente definidos.

Tabla 5a: Variación transversal de densidad y vacíos de sitio.

Posición (*)	% de vacíos (**)	
	Est. 1+450	Est. 4+400
A	7.7	6.7
B	5.8	6.6
C	7.0	8.6
D	9.6	9.0
E	6.3	8.2
F	6.3	10.1
Promedio	7.1	8.2
Desviación estándar	1.4	1.4
Porcentaje de cumplimiento	70.9%	43.9%

(*) 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 Juan Viñas.

Tabla 5b: Variación transversal de densidad y vacíos de sitio.

Estación	Posición (*)	Densidad	Escenarios de porcentaje de vacíos (**)			
			Percentil 15 Gmm	Percentil 50 Gmm	Percentil 85 Gmm	
0+150	A	2210	10.3	10.8	11.4	
	B	2204	10.5	11.1	11.6	
	C	2228	9.6	10.1	10.7	
	D	2046	17.0	17.5	18.0	
	E	2428	1.4	2.0	2.6	
	F	2445	0.7	1.3	2.0	
	Promedio			8.2	8.8	9.4
	Desviación estándar			6.2	6.1	6.1
Porcentaje de cumplimiento			26.8%	25.7%	24.3%	
0+500	A	2127	13.6	14.2	14.7	
	B	2039	17.2	17.7	18.2	
	C	2262	8.2	8.7	9.3	
	D	2137	13.2	13.8	14.3	
	E	2295	6.8	7.4	8.0	
	F	2371	3.7	4.3	4.9	
	Promedio			10.5	11.0	11.6
	Desviación estándar			5.0	5.0	5.0
Porcentaje de cumplimiento			22.3%	20.2%	17.9%	
1+450	A	2293	6.9	7.5	8.1	
	B	2087	15.3	15.8	16.3	
	C	2188	11.2	11.7	12.3	
	D	2161	12.3	12.8	13.4	
	E	2438	1.0	1.6	2.2	
	F	2369	3.8	4.4	5.0	
	Promedio			8.4	9.0	9.5
	Desviación estándar			5.4	5.4	5.4
Porcentaje de cumplimiento			28.9%	27.3%	25.4%	
3+175	A	2361	4.1	4.7	5.3	
	B	2436	1.1	1.7	2.3	
	C	2235	9.3	9.8	10.4	
	D	2160	12.3	12.8	13.4	
	E	2200	10.7	11.2	11.8	
	F	2199	10.7	11.3	11.8	
	Promedio			8.0	8.6	9.2
	Desviación estándar			4.4	4.4	4.4
Porcentaje de cumplimiento			34.4%	32.0%	29.1%	
5+015	A	2306	6.4	6.9	7.5	
	B	2127	13.6	14.2	14.7	
	C	2105	14.6	15.1	15.6	
	D	2338	5.1	5.7	6.3	
	E	2264	8.1	8.7	9.2	
	F	2331	5.4	6.0	6.6	
	Promedio			8.8	9.4	10.0
	Desviación estándar			4.2	4.2	4.1
Porcentaje de cumplimiento			31.3%	28.2%	25.0%	

(*) 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 Juan Viñas.

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 hasta de 6.2 % en el sentido transversal; mientras que la desviación estándar en el sentido longitudinal es 2.7 %.

Adicionalmente, se evidencia un bajo nivel de cumplimiento a las especificaciones para vacíos de la Disposición General AM-01-2000, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. En todos los casos, excepto el correspondiente a la estación 1+450, el porcentaje de cumplimiento es inferior a 45%.

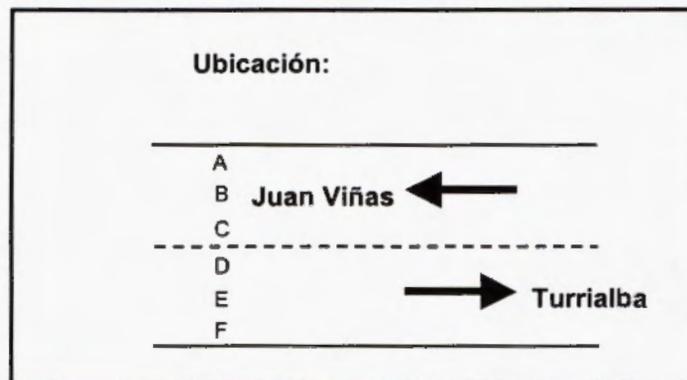


Figura 1: Esquema de extracción de núcleos y medición con equipo nuclear .

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 a lo largo del tramo (zonas con superficie de ruedo asfáltica colocada en 2002).

Tabla 6: Variación del parámetro de gravedad específica máxima teórica.

Estacionamiento	Gravedad máxima teórica (kg/m³)
0+100	2471
0+350	2470
0+800	2488
1+450	2456
2+925	2466
3+325	2506
3+875	2482
4+400	2486
Promedio	2478
Desv. Estándar	16
Promedio menos una desviación	2463
Promedio más una desviación	2494

Con respecto al tramo La Suiza – Tayutic se denota similitud en el promedio observado, pero un mayor nivel de dispersión (mayor desviación estándar). En los sondeos de La Suiza – Tayutic (mezcla asfáltica de la misma planta producida en una época similar), se encontró una desviación en el parámetro de gravedad específica máxima teórica de 9 kg/m³; mientras que la desviación estándar para el parámetro de gravedad específica máxima teórica en Juan Viñas – Turrialba es de 16 kg/m³.

3.1.3. Variación en dosificación.

La Tabla 7 presenta los resultados de variación en contenido de asfalto y granulometría, obtenidos en seis puntos de sondeo seleccionados en el tramo.

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 para esa fecha, en la planta de COMESA en Guápiles (5.85 % PTM).

Tabla 7: Contenidos de asfalto y granulometría

Parámetro	Estacionamiento						Promedio	Desv. Estándar
	0+100	0+350	0+800	2+925	3+325	3+875		
Contenido de asfalto PTM (%)	6.1	5.5	5.6	5.7	5.4	5.4	5.6	0.3
Contenido de asfalto PTA (%)	6.5	5.9	6	6.1	5.8	5.8	6.0	0.3
Malla 25.0 mm (*)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Malla 19.0 mm (*)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Malla 12.7 mm (*)	85.1	89.9	88.5	88.2	92.4	86.3	88.4	2.6
Malla 9.5 mm (*)	73.8	77.4	77.4	81.1	84.0	75.2	78.2	3.8
Malla No. 4 (*)	50.4	52.4	53.8	54.7	58.7	48.2	53.0	3.6
Malla No. 8 (*)	35.6	38.0	37.7	38.5	41.0	34.2	37.5	2.4
Malla No. 16 (*)	25.3	27.4	26.7	27.0	28.6	24.7	26.6	1.4
Malla No. 30 (*)	19.3	20.6	19.2	19.4	21.4	18.9	19.8	1.0
Malla No. 50 (*)	13.8	14.4	14.2	14.3	15.1	13.3	14.2	0.6
Malla No. 100 (*)	10.4	10.8	10.5	10.8	11.3	9.9	10.6	0.5
Malla No. 200 (*)	8.4	9.1	8.6	8.9	9.2	8.0	8.7	0.5

(*) Porcentaje pasando por peso de agregado.

Se observa un exceso de polvo mineral (agregado pasando el tamiz No. 200), dado que incluso el promedio (8.7%) excede el rango de especificación máximo (8.0 %).

La Tabla 8 presenta el contraste de dosificación para mezclas de sitio respecto al resultado de ensayos a muestras de planta.

Tabla 8: Cumplimiento de dosificación de diseño de mezcla

Parámetro	Rango de aceptación según diseño de mezcla	Producción enero 2002 (*)			Producción febrero 2002 (*)			Proyecto La Suiza - Tayutic		
		Prome-dio	Desv. Estándar	% cump.	Prome-dio	Desv. Estándar	% cump.	Prome-dio	Desv. Estándar	% cump.
Contenido de asfalto PTM	5.35 - 6.35	5.55	0.19	83.4	5.34	0.31	48.1	5.6	0.3	75.9
Malla 12.7 mm (**)	90 - 95	87.8	3.0	22.0	89.2	3.2	35.8	88.4	2.6	25.8
Malla 9.5 mm (**)	70 - 80	76.6	4.3	68.9	78.5	3.8	63.8	78.2	3.8	63.7
Malla No. 4 (**)	46 - 54	53.3	3.7	52.8	50.9	3.9	67.4	53.0	3.6	55.5
Malla No. 8 (**)	31 - 39	37.2	2.5	74.3	35.1	2.9	81.6	37.5	2.4	70.5
Malla No. 50 (**)	9 - 16	13.9	0.8	98.8	12.6	0.8	100.0	14.2	0.6	98.8
Malla No. 200 (**)	4.0 - 8.0	8.0	1.0	51.2	7.2	0.5	91.6	8.7	0.5	10.6

(*) Planta COMESA de Guápiles.

(**) Porcentajes pasando por peso de agregado.

Nótese que hay bajos niveles de cumplimiento para los porcentajes de agregado pasando los tamices de 12.7 mm (tamaño nominal), No. 4 y No. 200.

3.1.4. Susceptibilidad al daño por humedad.

En la Tabla 9 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.

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 la especificación de resistencia retenida. 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 susceptibilidad al daño por humedad, por lo tanto, en este estudio no se puede ser concluyente.

Tabla 9: Resultados del ensayo de 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)	
0+350	1	6.2	5.3	6.4	4.0	88.2%
	2	6.1	5.0	6.0	4.9	
	3	6.1	5.1	6.0	4.7	
	Promedio	6.1	5.1	6.1	4.5	
	Desv. Est.	0.1	0.1	0.2	0.5	
2+925	1	6.3	5.2	6.3	4.4	84.4%
	2	6.5	5.0	6.7	4.0	
	3	6.5	5.2	6.4	4.6	
	Promedio	6.4	5.1	6.5	4.3	
	Desv. Est.	0.1	0.1	0.2	0.3	

Nota: resultados de remoldeo.

3.2. Capas granulares.

3.2.1. Capa de base granular.

La Tabla 10 presenta los resultados del análisis granulométrico para los agregados de base muestreados en el proyecto.

Tabla 10: Resultados de ensayos de granulometría para base granular.

Abertura (mm)	% Pasando							
	Estación 0+100	Estación 0+350	Estación 0+800	Estación 2+925	Estación 3+325	Estación 3+875	Promedio	Desv. Estándar
50.00	100	100	100	100	100	100	100	0
38.10	98	99	99	90	100	100	98	4
25.00	73	66	76	65	83	85	75	8
19.00	56	50	66	55	70	70	61	9
9.50	33	33	48	38	49	49	42	8
No. 4	22	25	37	29	37	40	32	7
No. 10	18	20	28	23	30	33	25	6
No. 40	12	14	17	15	18	24	17	4
No. 200	6	8	9	7	9	14	9	3

La Tabla 11 presenta los resultados de índice de plasticidad, densidad máxima y CBR para las muestras de agregados de base.

Tabla 11: Resultados de ensayos de límites de Atterberg, Proctor y CBR para base granular.

Abertura (mm)	Límites de Atterberg					
	Estación 0+100	Estación 0+350	Estación 0+800	Estación 2+925	Estación 3+325	Estación 3+875
Índice de plasticidad (%)	2.6	NP	4.7	5.3	3.9	3.1
Humedad de sitio (%)	6.6	6.6	6.2	6.0	6.7	5.8
Compactación de sitio (%)	92.0	100.0	100.0	90.6	96.6	97.1
Densidad máxima (kg/m ³)	2211	2246	2174	2244	2242	2292
Humedad óptima (%)	8.1	7.1	7.0	6.9	6.2	6.7
CBR laboratorio (%)	55	100	-	100	80	-

Nota: densidad máxima de acuerdo con el ensayo de Proctor modificado.

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

Se nota una variación considerable en la capacidad de soporte para la capa de base a lo largo del proyecto. El índice de soporte CBR oscila entre 55 y 100 % (para la densidad máxima según Proctor modificado). Recuérdese que la capa de base es remanente en la estructura de pavimento existente; es decir, la capa de base no fue reemplazada y/o modificada en los recientes trabajos de mantenimiento.

3.2.2. Capa de sub-base.

La Tabla 12 presenta los resultados de caracterización para el material de sub-base.

Tabla 12: Resultados de ensayos de límites de Atterberg y Proctor para sub-base granular.

Abertura (mm)	Límites de Atterberg					
	Estación 0+100	Estación 0+350	Estación 0+800	Estación 2+925	Estación 3+325	Estación 3+875
Índice de plasticidad (%)	-	-	NP	3.8	-	-
Humedad de sitio (%)	-	-	-	5.5	-	-
Densidad máxima (kg/m ³)	-	-	-	2288	-	-
Humedad óptima (%)	-	-	-	7.1	-	-

Nota: densidad máxima de acuerdo con ensayo Proctor modificado.

3.3. Subrasante.

La Tabla 13 presenta los resultados de caracterización para el material de relleno.

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

Abertura (mm)	Límites de Atterberg					
	Estación 0+100	Estación 0+350	Estación 0+800	Estación 2+925	Estación 3+325	Estación 3+875
Índice de plasticidad (%)	-	14.4	16.8	42.0	11.3	NP
Humedad de sitio (%)	-	-	-	65.4	44.4	77.6
Densidad máxima (kg/m ³)	-	1270	1131	1012	1340	1127
Humedad óptima (%)	-	36.1	43.8	46.4	35.0	39.6
CBR laboratorio (%)	-	8.0	5.4	-	10.0	8.4

4. OPCIONES DE REHABILITACIÓN

4.1. Capacidad estructural existente.

En la Tabla 13 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.

En la Tabla 14 se presentan los números estructurales correspondientes a la condición actual del pavimento (octubre de 2002).

Tabla 13: Coeficientes estructurales del paquete estructural existente.

Espesores	Segmento homogéneo	Percentil 70 de deflexiones.				Percentil 85 de deflexiones.			
		Concreto Asfáltico	Base	Sub-base	Relleno	Concreto Asfáltico	Base	Sub-base	Relleno
Percentil 15 de espesores	A1	0.40	0.14	0.14	0.10	0.40	0.14	0.14	0.10
	B1	0.40	0.14	0.14	0.08	0.38	0.14	0.13	0.06
	B2	0.38	0.14	0.13	0.07	0.38	0.13	0.11	0.06
Percentil 50 de espesores	A1	0.40	0.14	0.14	0.10	0.40	0.14	0.14	0.08
	B1	0.38	0.12	0.13	0.08	0.36	0.11	0.11	0.08
	B2	0.37	0.11	0.13	0.07	0.35	0.10	0.11	0.07

Tabla 14: Número estructural existente (*).

Espesores	Segmento homogéneo	Número estructural existente	
		Percentil 70 de deflexiones.	Percentil 85 de deflexiones.
Percentil 15 de espesores	A1	2.96	2.96
	B1	2.89	2.72
	B2	2.76	2.53
Percentil 50 de espesores	A1	4.54	4.37
	B1	4.04	3.69
	B2	3.85	3.50

(*) Considera capa asfáltica, base, sub-base y relleno.

4.2. Proyecciones de carga.

La Tabla 15 presenta la información de tránsito disponible.

Tabla 15: Conteos de tránsito y distribución de flota vehicular (*).

Ubicación	TPD	Año	Distribución de flota vehicular (%)					
			Livianos	Buses	Carga liviana	C2	C3	T3-S2
(**)	2210	1995	48.7	4.7	33.1	8.9	1.3	3.2
	2435	1996	47.6	4.4	31.2	10.1	1.7	5.2
	2615	1999	47.4	4.4	31.2	10.1	1.7	5.2

(*) Se muestran los tres sondeos más recientes.

(**) Sondeos realizados a 6 km de Juan Viñas.

A partir de la información histórica de crecimiento por año, para TPD, de 1987 a 1999, se obtienen dos escenarios de crecimiento anual:

- Escenario promedio: 3.6 %.
- Escenario alto: 7.5 % (percentil 70).

La Tabla 16 presenta los factores camión usados para el cálculo de los ejes equivalentes.

Tabla 16: Factores camión usados para cálculo de ejes equivalentes (*).

Tipo	Liviano	Bus	Carga liviana	C2	C3	T3-S2
Factor camion	0.001	1.0	0.5	1.0	1.5	2.5

(*) Fuente: estudios previos del LANANME.

La Tabla 17 presenta las proyecciones de carga de tránsito a partir de los conteos disponibles, así como los correspondientes ejes equivalentes para:

- Tres escenarios de plazo: 10 años, 15 años, 20 años;
- Dos escenarios de crecimiento anual: 3.6 %, 7.5 %.

Nota: no se ha considerado un límite en el crecimiento de TPD futuro. Escenario crítico de carga.

Tabla 17: Escenarios de carga de tránsito.

Plazo	Porcentaje de crecimiento	Ejes equivalentes para carril de diseño (*)
10 años	3.6 %	3.0 millones
	7.5 %	4.1 millones
15 años	3.6 %	4.9 millones
	7.5 %	7.6 millones
20 años	3.6 %	7.2 millones
	7.5 %	12.6 millones

(*) Aplicando un factor direccional de 0.50, y un factor carril de 1.0 (un único carril por sentido).

Por lo tanto, se plantea el dimensionamiento de refuerzos estructurales de acuerdo con los siguientes escenarios:

- 4.0 millones de ejes equivalentes simples de 8200 kg (aprox. 10 años).
- 7.0 millones de ejes equivalentes simples de 8200 kg (aprox. 15 años).
- 10.0 millones de ejes equivalentes simples de 8200 kg (aprox. 20 años).

4.3. Opciones de rehabilitación.

De acuerdo con la Guía de diseño de la AASHTO (1993), se aplicaron los siguientes parámetros para el dimensionamiento del refuerzo estructural requerido:

- Nivel de confianza de 85 %.
- Desviación estándar: $s_0 = 0.45$.
- Índice terminal de habilidad de servicio: $P_t = 2.00$.
- Módulo resiliente de la sub-rasante de acuerdo con la Tabla 3.

Para cada escenario de carga y cada segmento homogéneo se formularon dos opciones de rehabilitación, con el propósito de subsanar 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 18. El Anexo III presenta las memorias de cálculo correspondientes.

Tabla 18: Espesores de sobrecapa (cm) de acuerdo con la metodología AASHTO 1993.

Segmento homogéneo	Escenarios de carga (EEQ)		
	4.0 millones	7.0 millones	10.0 millones
A1	11.0	13.0	14.0
B1	11.0	13.5	15.0
B2	12.0	14.0	15.5

Adicionalmente, se consideró la estabilización de 15.0 cm de pavimento existente con emulsión asfáltica y la colocación de una sobrecapa, de acuerdo con la Tabla 19. El Anexo III presenta las memorias de cálculo correspondientes.

Tabla 19: Espesores de sobrecapa requeridos a partir de la metodología AASHTO 1993, en centímetros, a colocar sobre base estabilizada con emulsión asfáltica de 15.0 cm. Opción B.

Segmento homogéneo	Escenarios de carga (EEQ)		
	4.0 millones	7.0 millones	10.0 millones
A1	7.0	9.0	10.5
B1	7.5	9.5	11.0
B2	8.0	10.0	11.5

Finalmente se valoró la estabilización de 15.0 cm de pavimento existente con cemento Portland y la colocación de una sobrecarga, de acuerdo con la Tabla 20. El Anexo III presenta las memorias de cálculo correspondientes.

Tabla 20: Espesores de sobrecapa requeridos a partir de la metodología AASHTO 1993, en centímetros, a colocar sobre base estabilizada con cemento Portland de 15.0 cm. Opción C.

Segmento homogéneo	Escenarios de carga (EEQ)		
	4.0 millones	7.0 millones	10.0 millones
A1	7.5	9.5	11.0
B1	8.0	10.0	11.5
B2	8.5	10.5	12.0

4.4. Verificación de capacidad por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica.

Se seleccionaron los segmentos homogéneos A1 (mejor condición en términos relativos a los restantes) y B2 (condición más desfavorable en términos relativos a los restantes), con el propósito de verificar la capacidad de la estructura de pavimento, dimensionada de acuerdo con el Apartado 4.3., por agrietamiento a la fatiga en la capa asfáltica y deformación plástica en la superficie de la sub-rasante.

La Tabla 21 presenta los resultados correspondientes.

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

Tabla 20: Verificación de capacidad por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica (*).

Segmento	Escenario de espesores	Estrategia de rehabilitación		Capacidad al agrietamiento por fatiga		Capacidad a la deformación plástica	
		Tipo	Espesor de capa superior (cm)	ϵ_t (E-6)	N_f (*) (E6)	ϵ_v (E-6)	N_r (**)(E6)
A1	Pctil. 50	Sobrecapa	8.0	234	1,2	219	84,3
			9.5	212	1,6	204	112,0
			12.0	182	2,7	183	173,0
			14.0	161	4,0	168	243,5
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	9.0	198	2,0	188	155,3
			11.0	174	3,1	173	216,6
			13.0	154	4,6	160	296,0
			15.5	133	7,5	145	438,9
		CTB de 15.0 cm y sobrecapa	7.5	-271	∞	167	249.4
		Pctil. 15	Sobrecapa	8.0	248	1,0	402
	9.5			227	1,3	366	10,8
	12.0			195	2,1	314	20,0
	14.0			172	3,2	279	32,0
	BTB de 15.0 cm y sobrecapa		9.0	207	1,7	330	16,4
			11.0	183	2,6	296	25,3
			13.0	162	3,9	204	112,0
			15.5	140	6,3	235	63,6
CTB de 15.0 cm y sobrecapa	7.5	-310	∞	275	33.9		

Tabla 20 (cont.): Verificación de capacidad por agrietamiento a la fatiga y deformación plástica (*).

B2	Pctil. 50	Sobrecapa	9.5	263	0,8	290	27,4
			11.0	237	1,1	270	36,5
			13.0	208	1,7	246	53,0
			15.0	184	2,6	225	75,7
		BTB de 15.0 cm y sobrecapa	10.0	217	1,5	246	53,0
			11.5	197	2,1	231	68,1
			13.5	174	3,1	213	94,3
			15.0	159	4,2	200	121,3
		CTB de 15.0 cm y sobrecapa	8.5	-210	∞	217	87.5
		Pctil. 15	Sobrecapa	9.5	264	0,8	518
	11.0			240	1,1	470	4,0
	13.0			212	1,6	414	6,6
	15.0			188	2,4	367	10,7
	BTB de 15.0 cm y sobrecapa		10.0	222	1,4	424	6,0
			11.5	202	1,9	390	8,4
			13.5	179	2,8	349	13,1
			15.0	164	3,8	323	17,8
	CTB de 15.0 cm y sobrecapa		8.5	-235	∞	328	16.8

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

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

4.2. 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 tres 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. (Período de diseño de 10 años).
- Estabilización en sitio, con emulsión asfáltica, en un espesor de 15.0 cm del pavimento existente.
 - Sobrecapa de 13.0 cm en los segmentos homogéneos A1 y B1.
 - Sobrecapa de 15.0 cm en el segmento homogéneo B2.
- B. Bacheo mayor, sello y superficie de prenivelación, en el pavimento existente; con la colocación de una sobrecapa. (Período de diseño de 10 años).
- De previo a la aplicación de una sobrecapa, conviene identificar, escarificar y reparar (bacheo) las áreas de pavimento con mayor infiltración de agua.
 - Sello superficial del tipo "fog seal", aplicando emulsión de rotura lenta.
 - Sobrecapa de 14.5 cm en los segmentos homogéneos A1 y B1.
 - Sobrecapa de 16.0 cm en el segmento homogéneo B2.
 - Monitoreo periódico, con colocación oportuna de sello asfáltico (cuando se presenten primeras fisuras).
- C. Estabilización con cemento Portland en un espesor de 15.0 cm del pavimento existente; con la colocación de una sobrecapa. (Período de diseño de 10 años).
- Estabilización en sitio, con cemento Portland, en un espesor de 15.0 cm. Se requiere lograr una base estabilizada con cemento BE – 25.
 - Riego de imprimación con emulsión asfáltica.
 - Sobrecapa de 9.5 cm de segmento A1, sobrecapa de 10.0 cm en segmento B1, sobrecapa de 10.5 cm en segmento B2.

Nótese que estas opciones de rehabilitación tienen una capacidad de 4.0 a 5.0 millones de ejes equivalentes.

Alternativamente, con el propósito de proveer el número estructural correspondiente a una capa asfáltica de 5.0 cm y a la vez proteger la estructura existente de la infiltración de agua, se presenta un curso de acción adicional (Opción D.). Entiéndase, sin embargo, que dicho paquete estructural es susceptible al agrietamiento por fatiga en el corto plazo.

D. Sellado de superficie

- De previo a la aplicación del sello, se requiere identificar, escarificar y reparar (bacheo) las áreas de pavimento con mayor infiltración de agua (por ejemplo: áreas de sombra)
- Colocación de sello superficial tipo "slurry seal", o tratamiento superficial TS-3.
- Monitoreo periódico, con colocación oportuna de un refuerzo estructural cuando se presenten las 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 55 %; incluso hay sondeos en estacionamientos específicos con únicamente 20 % de cumplimiento. Además hay una dispersión muy 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 en granulometría. Particularmente es de relevancia fundamental el alto contenido de polvo mineral (fuera 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).
- No se descarta la carencia de adherencia entre la capa asfáltica y la capa de apoyo (asociada con la deformación plástica longitudinal observada). En los puntos de sondeo evaluados sí se encontró un riego de liga, pero no hay elementos de juicio suficientes para valorar la adherencia de dicho material con la capa de base en la generalidad del tramo.

Respecto a estrategias de rehabilitación:

- Considérense las cuatro estrategias de rehabilitación del Apartado 4.3., tomando en cuenta las recomendaciones planteadas en cuanto a la capacidad de resistencia al agrietamiento por fatiga.

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: Juan Viñas - Turrialba
 RUTA: 10

UBICACIÓN: 0+800

FECHA DE MUESTREO: 06/09/02.

SONDEO #3A

N° muestra

(*) 1321-02: capa asfáltica

(*) 1323-02: base granular

(*) 1324-02: sub-base

(*) 1325-02: relleno

(*) 1326-02: sub-rasante

(*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																								
12.0	Capa asfáltica	Se nota deformación en la capa asfáltica y exposición de base.																																								
26.0	Base granular	<p>En el momento de la excavación se encontraba muy compacta. Agregado (lastre) color gris claro, de partícula medianamente elongada, material muy contaminado, roca muy compacta con algunos poros.</p> <p>W natural: 6.19% Densidad en sitio: 100% W óptima: 7.0% Densidad máx (PM): 2174 kg/m³</p> <p align="right">LIMITES DE ATTERBERG LL: 18.5 LP: 13.8 IP: 4.7</p> <table border="1"> <tr> <th colspan="9">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="9">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> </tr> <tr> <td>100</td> <td>99</td> <td>76</td> <td>66</td> <td>48</td> <td>37</td> <td>28</td> <td>17</td> <td>9</td> </tr> </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	76	66	48	37	28	17	9				
Granulometría (% pasando)																																										
Abertura (mm)																																										
50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																																		
100	99	76	66	48	37	28	17	9																																		
31.0	Sub-base	<p>En el momento de la excavación se encontraba compacta.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG LL: NP LP: NP IP:NP</p> <table border="1"> <tr> <th colspan="10">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <td>100.00</td> <td>75.00</td> <td>50.000</td> <td>38.100</td> <td>25.000</td> <td>19.000</td> <td>4.750</td> <td>2.000</td> <td>0.430</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>99</td> <td>92</td> <td>88</td> <td>79</td> <td>75</td> <td>59</td> <td>46</td> <td>23</td> <td>11</td> </tr> </table>	Granulometría (% pasando)										Abertura (mm)										100.00	75.00	50.000	38.100	25.000	19.000	4.750	2.000	0.430	0.075	100	99	92	88	79	75	59	46	23	11
Granulometría (% pasando)																																										
Abertura (mm)																																										
100.00	75.00	50.000	38.100	25.000	19.000	4.750	2.000	0.430	0.075																																	
100	99	92	88	79	75	59	46	23	11																																	
17.0	Relleno	<p>Material gris con partículas blancas y contaminado con residuos de mezcla asfáltica vieja y con suelo arcilloso color negrusco.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG LL: 18.5 LP: 11.9 IP:6.5</p>																																								
	Sub-rasante	<p>Suelo limoso color café oscuro con partículas y grumos alterados.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG LL: 61.7 LP: 44.9 IP:16.8</p> <p>W óptima: 43.8% Densidad máx (PM): 1131 kg/m³</p> <p align="right">CBR sitio: 8.4% CBR lab. al 95% (0.1") = 5.4% CBR lab. al 95% (0.2") = 5.6%</p> <table border="1"> <tr> <th colspan="8">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="8">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <td>9.500</td> <td>4.750</td> <td>2.000</td> <td>0.850</td> <td>0.430</td> <td>0.250</td> <td>0.150</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>99</td> <td>97</td> <td>95</td> <td>92</td> </tr> </table>	Granulometría (% pasando)								Abertura (mm)								9.500	4.750	2.000	0.850	0.430	0.250	0.150	0.075	100	100	100	100	99	97	95	92								
Granulometría (% pasando)																																										
Abertura (mm)																																										
9.500	4.750	2.000	0.850	0.430	0.250	0.150	0.075																																			
100	100	100	100	99	97	95	92																																			

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

PROYECTO: Juan Viñas - Turrialba
 RUTA: 10

UBICACIÓN: 3+325

FECHA DE MUESTREO: 26/8/02

SONDEO #2D

N° muestra

(*) 1268-02: capa asfáltica

(*) 1265-02: base granular

(*) 1266-02: sub-base

(*) 1267-02: sub-rasante

(*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																				
6.0	Capa asfáltica	Se nota deformación en la capa asfáltica y exposición de base.																																				
23.0	Base granular	Agregado de color gris claro, muy contaminado, contiene partículas gruesas de material de río en cierta cantidad. W natural: 6.74% Densidad en sitio: 96.6% W óptima: 6.2% Densidad máx (PM): 2242 kg/m ³ CBR lab. al 95% (0.1") = 80% CBR lab. al 95% (0.2") = 101% <div style="text-align: right;">LIMITES DE ATTERBERG LL: 17.2 LP: 13.3 IP: 3.9</div> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="9">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="9">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <th>50.000</th> <th>38.100</th> <th>25.000</th> <th>19.000</th> <th>9.500</th> <th>4.750</th> <th>2.000</th> <th>0.430</th> <th>0.075</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>83</td> <td>70</td> <td>49</td> <td>37</td> <td>30</td> <td>18</td> <td>9</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	100	83	70	49	37	30	18	9
Granulometría (% pasando)																																						
Abertura (mm)																																						
50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																														
100	100	83	70	49	37	30	18	9																														
35.0	Sub-base																																					
	sub-rasante	Suelo arcilloso color café claro, con alto contenido de roca color grisácea y amarillenta en cierta cantidad. W natural: 44.43% W óptima: 35.0% Densidad máx (PM): 1340 kg/m ³ CBR lab. al 95% (0.1") = 11% CBR lab. al 95% (0.2") = 10% CBR sitio: 10.1% <div style="text-align: right;">LIMITES DE ATTERBERG LL: 48.4 LP: 37.1 IP: 11.3</div>																																				

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

PROYECTO: Juan Viñas - Turrialba
 RUTA: 10

UBICACIÓN: 3+875

FECHA DE MUESTREO: 21/ago/02.

SONDEO #3D

N° muestra

(*) 1249-02: capa asfáltica

(*) 1250-02: base granular

(*) 1251-02: sub-base

(*) 1252-02: relleno

(*) 1253-02: sub-rasante

(*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																				
6.5	Capa asfáltica	Se nota deformación en la capa asfáltica y exposición de base.																																				
20.0	Base granular	Agregado de tajo color gris claro, de partícula medianamente redondeada, contiene rastros inorgánicos en la parte fina, grano muy fino. W natural: 5.79% Densidad en sitio: 97.1% W óptima: 6.7% Densidad máx (PM): 2292 kg/m ³																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="9">Granulometría (% pasando)</th> </tr> <tr> <th colspan="9">Abertura (mm)</th> </tr> <tr> <th>50.000</th> <th>38.100</th> <th>25.000</th> <th>19.000</th> <th>9.500</th> <th>4.750</th> <th>2.000</th> <th>0.430</th> <th>0.075</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>85</td> <td>70</td> <td>49</td> <td>40</td> <td>33</td> <td>24</td> <td>14</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	100	85	70	49	40	33	24	14
Granulometría (% pasando)																																						
Abertura (mm)																																						
50.000	38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																														
100	100	85	70	49	40	33	24	14																														
20.0	Sub-base																																					
12.0	Relleno																																					
	Sub-rasante	Limo "colorado" de poca plasticidad, contiene bloques y grumos ligeramente alterados. W natural: 77.62% W óptima: 39.6% Densidad máx (PM): 1127 kg/m ³ CBR lab. al 95% (0.1") = 8.8 CBR lab. al 95% (0.2") = 8.4 CBR sitio: 6.6%																																				

Anexo II

Deflectometría de impacto (FWD)

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

PROYECTO: JUAN VIÑAS - TURRIALBA
RUTA No: 10
TRAMO: 0+000 - 5+140
MEDICIONES CADA 100 METROS

SENTIDO: Juan Viñas - Turrialba
CARRIL: Único
FECHA : 20 agosto del 2002

Equipo utilizado: DYNATEST 8081 FWD TEST SYSTEMS
Diámetro del plato de carga: 300 mm
Magnitud de la carga: simulación de eje estándar de 8.2 toneladas

Tabla N°.1 Configuración de los geófonos (distancia en mm)

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

Tabla N°.2 Deflexiones medidas

Estacionamiento	Referencia Proyecto	Temp. Pav. (°C)	Temp. Aire (°C)	DEFLEXION mm*10 ⁻²								
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
0+ 000	1	41.6	26.0	43.85	36.53	30.67	24.17	19.69	14.43	11.42	9.34	7.71
0+ 025		41.3	25.9	40.89	30.71	24.09	16.86	11.95	6.88	4.62	3.36	2.66
0+ 050		40.6	25.2	53.86	27.64	15.71	9.72	7.19	4.81	3.75	3.00	2.54
0+ 100	2	42.4	25.9	61.30	45.11	34.22	23.29	16.63	10.60	8.56	7.22	6.04
0+ 150		39.8	26.6	83.88	64.41	49.80	35.49	27.43	18.98	14.14	10.85	8.30
0+ 200		41.8	25.9	53.67	33.04	25.55	17.67	12.69	7.83	5.89	4.76	3.98
0+ 250		40.9	25.0	68.76	45.75	32.04	21.62	16.66	11.45	8.40	6.46	5.20
0+ 300		40.0	26.3	60.48	38.07	25.62	17.49	14.05	10.21	7.90	5.89	4.60
0+ 350	3	32.1	26.0	63.59	43.48	33.38	26.80	22.91	18.01	14.86	12.37	10.42
0+ 400		39.4	26.0	56.51	37.78	24.13	16.79	14.16	10.90	9.23	8.19	7.00
0+ 450	4	31.2	24.7	56.92	34.77	24.11	17.91	14.96	10.66	8.52	6.59	5.67
0+ 500		40.2	26.0	42.65	27.14	17.64	11.61	9.48	8.29	7.13	6.36	5.38
0+ 550		25.7	24.7	46.55	32.24	23.51	16.87	14.42	11.68	10.02	8.62	7.28
0+ 600		27.2	24.0	60.05	41.10	28.65	19.99	16.04	12.45	9.95	7.93	6.34
0+ 650		25.5	24.5	44.19	26.28	16.29	9.74	7.52	5.68	4.58	3.92	3.10
0+ 700		43.4	25.4	39.60	28.73	21.77	15.28	11.96	9.15	7.58	6.29	5.21
0+ 750		46.1	25.6	62.65	46.50	34.75	25.94	21.62	16.59	13.16	10.47	8.44
0+ 800	5	43.1	26.5	60.21	43.34	31.59	23.65	20.34	16.51	13.96	11.83	10.07
0+ 850	6	43.7	26.5	60.77	41.46	29.03	19.41	14.83	10.70	8.89	7.77	6.64
0+ 900		44.0	27.0	77.35	60.97	47.83	33.62	24.58	16.50	12.82	10.53	8.87
1+ 050		36.8	27.0	86.28	65.16	48.55	33.87	25.18	15.92	11.06	8.46	6.67
1+ 150		35.9	23.4	47.54	35.66	27.79	21.35	17.92	14.27	12.20	10.49	8.86
1+ 250		37.9	25.3	86.03	69.14	55.28	38.40	27.00	14.59	9.04	6.50	5.20
1+ 350		38.3	24.9	54.50	41.06	30.02	20.48	15.17	9.64	6.54	4.90	3.92
1+ 450		38.4	24.9	25.93	20.78	17.96	14.29	11.35	7.82	6.14	4.93	4.19
1+ 550		39.3	26.1	42.72	25.00	15.99	9.62	7.30	4.92	3.59	2.73	2.22
1+ 650		39.1	25.3	45.66	30.81	21.36	14.30	11.03	7.39	5.83	4.53	3.57
1+ 750		38.0	25.5	53.34	41.55	33.86	24.60	18.14	10.41	6.55	4.85	3.59
1+ 850		39.3	25.3	89.42	69.46	55.47	41.57	32.21	20.71	14.51	10.49	8.01
1+ 950		39.6	26.2	125.16	96.31	73.13	49.39	35.77	21.54	14.80	10.90	8.60

Estacionamiento	Referencia Proyecto	Temp. Pav. (°C)	Temp. Aire (°C)	DEFLEXION mm*10 ⁻²								
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
2+ 050		40.6	26.4	67.10	49.14	38.26	30.76	27.03	21.07	16.25	12.79	9.90
2+ 150		39.6	26.1	61.79	43.50	31.83	22.69	18.52	13.72	10.46	8.25	6.57
2+ 250		37.7	23.4	59.24	40.56	29.67	21.29	18.27	14.64	12.31	10.13	8.37
2+ 350		31.4	23.5	59.17	48.07	39.75	31.10	25.03	18.58	14.61	11.63	9.36
2+ 450		41.4	25.0	53.22	41.78	32.12	23.92	19.13	12.94	8.48	6.36	5.15
2+ 550		36.8	24.1	59.19	46.75	37.15	25.92	18.84	10.86	7.13	4.98	3.88
2+ 650		39.6	24.5	61.61	47.51	35.71	25.09	18.77	11.95	8.31	6.05	4.71
2+ 750	7	37.4	24.1	56.47	44.01	34.64	25.01	18.73	11.48	7.86	5.53	4.08
2+ 875	8	38.0	24.6	69.34	53.23	40.69	28.62	21.46	13.83	9.42	6.91	5.51
2+ 925	9	38.3	24.5	62.97	46.53	36.49	27.14	22.15	16.09	12.03	8.85	6.88
2+ 975		39.4	24.7	60.41	47.12	35.40	25.75	20.70	15.43	12.64	10.34	8.52
3+ 025		38.1	25.6	81.28	64.77	50.23	35.50	25.44	15.27	10.41	7.80	6.03
3+ 075		37.2	25.3	59.29	42.76	31.09	22.81	19.75	16.83	14.71	12.77	11.00
3+ 125		37.1	24.2	69.41	46.75	31.90	21.00	15.95	11.26	9.10	7.54	6.42
3+ 175		37.7	23.9	82.69	59.25	42.04	29.59	22.90	15.68	11.53	8.97	7.04
3+ 225		40.3	24.3	100.87	74.18	53.24	36.30	26.75	16.62	11.08	7.74	5.70
3+ 275		39.9	25.5	79.71	59.19	44.68	31.22	22.68	14.12	10.08	7.63	5.91
3+ 325	10	37.6	25.3	66.51	52.96	41.44	30.06	23.06	14.46	9.99	7.32	5.80
3+ 375		38.1	26.1	71.43	52.72	39.11	27.06	20.33	13.80	10.23	8.26	6.50
3+ 425		40.2	25.3	79.15	58.42	41.05	27.01	19.55	12.46	9.55	7.88	6.69
3+ 475		42.1	24.5	71.77	52.83	37.68	24.03	16.86	10.36	7.59	6.04	4.96
3+ 525		41.2	25.0	72.26	54.56	40.68	26.81	19.01	11.77	8.44	6.10	5.04
3+ 575		42.3	25.4	84.83	61.42	46.06	31.70	24.70	17.42	13.32	10.12	7.92
3+ 625		41.6	24.2	85.32	54.55	34.77	24.36	20.08	15.64	12.50	9.87	8.23
3+ 675		42.0	26.6	60.99	41.35	27.01	18.10	14.80	11.62	9.47	7.68	6.23
3+ 725		40.2	26.4	70.89	41.62	32.39	22.71	16.58	9.60	6.58	5.06	3.95
3+ 775		40.8	24.1	64.87	42.42	28.06	18.39	14.27	10.46	7.95	6.25	5.20
3+ 825		39.9	24.2	83.32	63.47	48.04	35.58	27.96	19.74	14.06	10.63	8.24
3+ 875	11	43.1	24.3	69.42	49.59	34.08	21.85	16.17	11.50	8.58	6.50	5.18
3+ 925	12	41.0	25.0	97.90	65.53	41.86	28.54	22.26	14.48	10.10	7.61	5.91
3+ 975		44.5	27.2	55.39	41.17	29.04	18.83	13.21	8.75	6.59	4.75	3.88
4+ 025		42.3	27.8	72.91	47.96	30.33	17.71	11.62	6.30	4.65	4.04	3.24
4+ 100		43.9	25.0	65.39	42.43	27.59	16.97	13.65	10.58	8.95	7.40	6.29
4+ 200		44.0	25.0	73.14	47.30	30.15	18.79	13.38	9.11	7.26	6.05	4.93
4+ 300		39.2	27.0	92.98	72.24	52.53	34.54	24.40	13.65	9.09	6.52	5.14
4+ 400		42.4	26.2	101.25	81.03	64.32	47.80	37.02	25.04	18.24	14.65	12.07
4+ 500		42.1	26.7	89.24	68.55	52.25	40.29	34.41	26.11	19.77	15.82	12.66
4+ 600		43.1	27.1	88.76	69.58	52.05	35.15	25.95	16.66	12.17	9.44	7.84
4+ 700		44.4	26.9	55.97	43.59	32.88	22.05	16.54	10.76	8.15	6.33	5.09
4+ 800		46.7	28.0	81.28	69.73	59.92	48.18	38.88	27.56	21.07	16.61	13.14
4+ 900		46.5	28.6	100.19	76.00	57.22	40.59	30.81	19.28	13.11	9.48	7.25
4+ 915	13	46.7	29.0	80.13	63.34	51.34	39.31	32.38	23.72	18.36	13.93	11.06
4+ 965		45.8	27.8	71.80	46.08	29.80	22.69	18.70	12.62	8.67	7.10	5.23
5+ 015		45.4	27.9	67.04	48.35	36.11	23.49	16.15	9.60	6.92	5.60	4.77
5+ 065		45.3	28.1	76.48	56.35	40.05	25.48	17.80	11.38	8.32	6.59	5.34
5+ 115	14	48.2	28.2	68.19	50.27	37.90	26.78	19.53	12.25	8.89	7.20	5.91

Referencias:

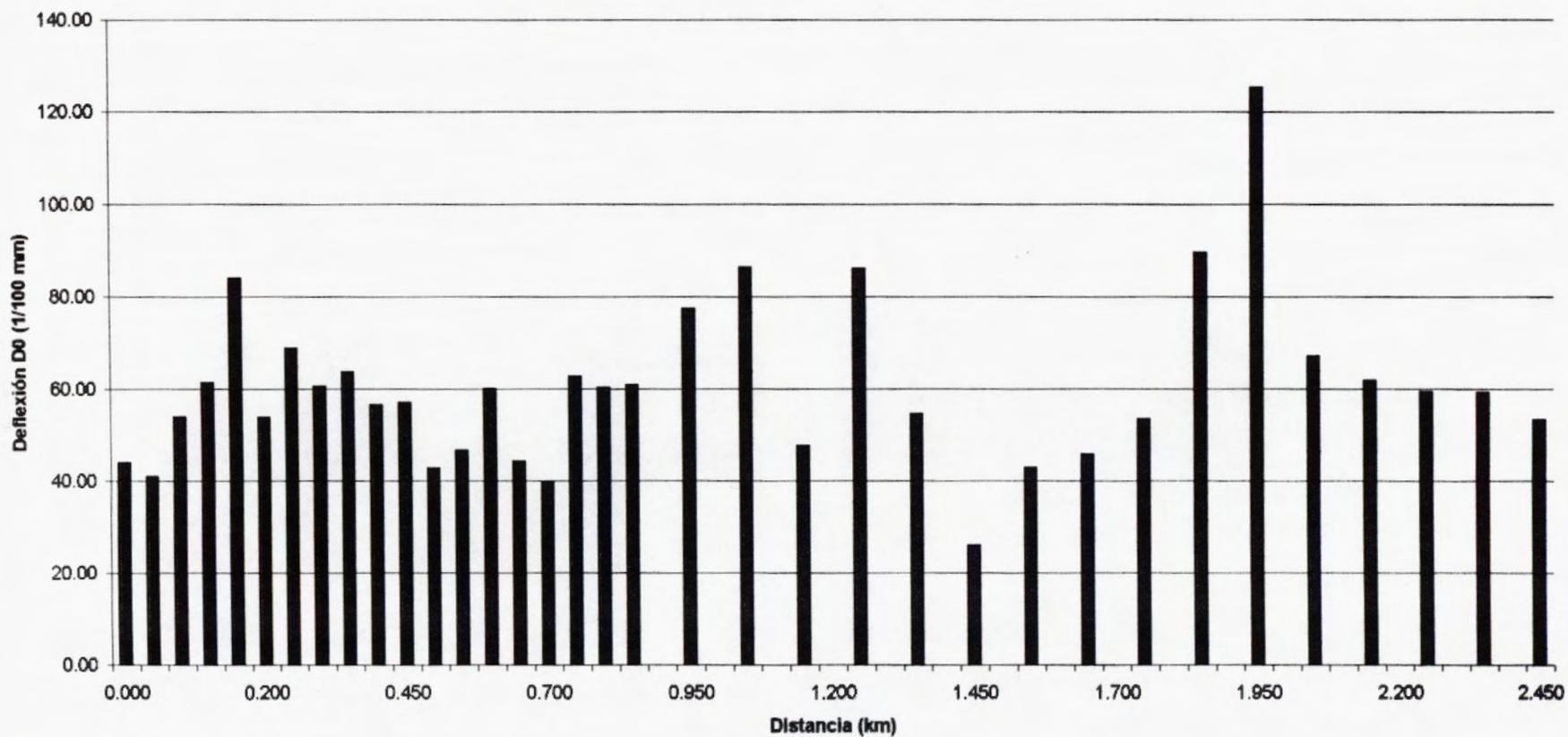
- 1: El 0+000 inicia en Juan Viñas, en la segunda entrada. En este punto inicia el tramo de análisis 1.
- 2: Ubicación del sondeo N°1 en el tramo de análisis 1.
- 3: Ubicación del sondeo N°2 en el tramo de análisis 1.
- 4: Bar Linda Vista.
- 5: Ubicación del sondeo N°3 en el tramo de análisis 1.
- 6: Finaliza tramo de análisis 1.
- 7: Entrada a Barrio Santa Elena.
- 8: Inicia tramo de análisis 2.
- 9: Ubicación del sondeo N°1 en el tramo de análisis 2.
- 10: Ubicación del sondeo N°2 en el tramo de análisis 2.
- 11: Ubicación del sondeo N°3 en el tramo de análisis 2.
- 12: Finaliza tramo de análisis 2.
- 13: Inicia tramo 3.
- 14: Finaliza tramo 3.

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

PROYECTO: JUAN VIÑAS - TURRIALBA
RUTA No: 10
TRAMO: 0+000 - 5+140
MEDICIONES CADA 100 METROS

SENTIDO: Juan Viñas - Turrialba
CARRIL: Único
FECHA : 20 agosto del 2002

Deflexión vrs Distancia

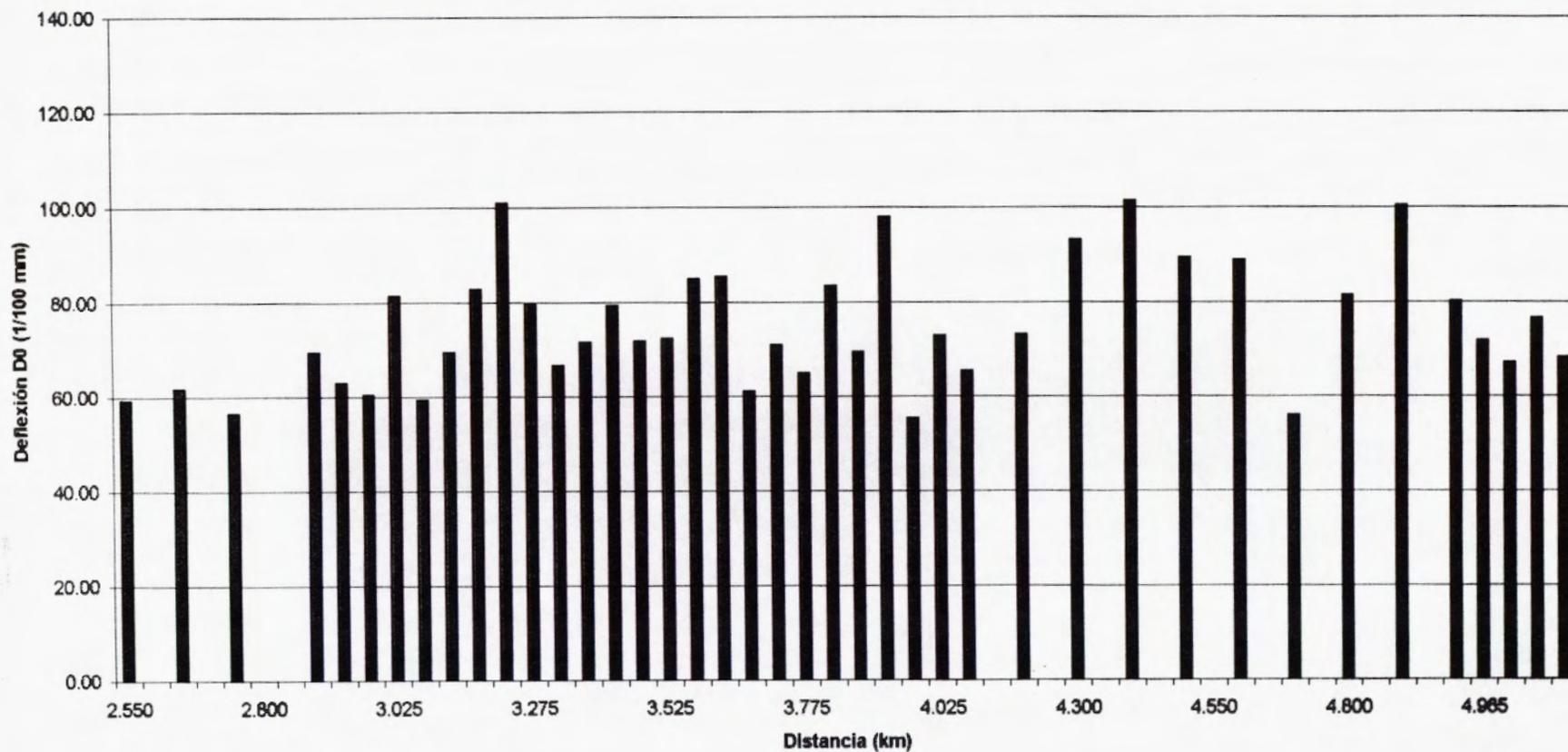


LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA
Deflectómetro de impacto

PROYECTO: JUAN VIÑAS - TURRIALBA
RUTA No: 10
TRAMO: 0+000 - 5+140
MEDICIONES CADA 100 METROS

SENTIDO: Juan Viñas - Turrialba
CARRIL: Único
FECHA : 20 agosto del 2002

Deflexión vrs Distancia



Anexo III

Memorias de cálculo para dimensionamiento de refuerzo estructural

DIMENSIONAMIENTO DE UNA SOBRECAPA POR METODO AASHTO: JUAN VIÑAS - TURRIALBA

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	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x
	6.1	20.6	28.6	22.0	x	5.2	16.9	15.7	8.8	x	6.1	20.6	28.6	22	x	5.2	16.9	15.7	8.8	x

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	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR
A1	400000	32000	25000	15000	8000	400000	35000	25000	15000	9000	400000	30000	22000	12000	7000	400000	35000	25000	15000	8000
B1	350000	26000	20000	12000	6000	400000	30000	22000	12000	6000	300000	24000	16000	12000	10500	350000	30000	20000	10000	10500
B2	330000	24000	18000	11000	4750	350000	30000	20000	11000	4750	280000	20000	16000	11000	4500	350000	28000	16000	9000	4500

Tabla A2: Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA CAPAS EXISTENTES:

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				
	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x
A1	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x
B1	0.380	0.120	0.130	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.360	0.110	0.110	0.080	x	0.380	0.140	0.130	0.060	x
B2	0.370	0.110	0.130	0.070	x	0.380	0.140	0.130	0.070	x	0.350	0.100	0.110	0.070	x	0.380	0.130	0.110	0.060	x

Tabla A2 (cont'd): Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO EXISTENTE:

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				
	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe
A1	0.96	1.14	1.58	0.87	4.54	0.82	0.93	0.87	0.35	2.96	0.96	1.14	1.58	0.69	4.37	0.82	0.93	0.87	0.35	2.96
B1	0.91	0.97	1.46	0.69	4.04	0.82	0.93	0.87	0.28	2.89	0.86	0.89	1.24	0.69	3.69	0.78	0.93	0.80	0.21	2.72
B2	0.89	0.89	1.46	0.61	3.85	0.78	0.93	0.80	0.24	2.76	0.84	0.81	1.24	0.61	3.50	0.78	0.86	0.68	0.21	2.53

Tabla A3: Cálculo de espesor de sobrecapa.

ESCENARIOS DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL REQUERIDA:

Escenario	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
EEQ (E6)	4.0	7.0	10.0	x	x

SN REQUERIDO POR SEGMENTO

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	4.09	4.44	4.67	x	x	3.93	4.27	4.5	x	x	4.28	4.64	4.88	x	x	4.09	4.44	4.67	x	x
B1	4.51	4.88	5.13	x	x	4.51	4.88	5.13	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x
B2	4.87	5.26	5.52	x	x	4.87	5.26	5.52	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x

Tabla A3 (Cont): Cálculo de espesor de sobrecapa.

NUMERO ESTRUCTURAL ADICIONAL REQUERIDO:

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	0.00	0.00	0.13	x	x	0.97	1.31	1.54	x	x	0.00	0.27	0.51	x	x	1.13	1.48	1.71	x	x
B1	0.47	0.84	1.09	x	x	1.04	1.38	1.61	x	x	0.59	0.95	1.19	x	x	1.37	1.72	1.95	x	x
B2	1.02	1.41	1.67	x	x	1.17	1.51	1.74	x	x	0.78	1.14	1.38	x	x	1.56	1.91	2.14	x	x

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

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	0.0	0.0	0.8	x	x	5.9	7.9	9.3	x	x	0.0	1.7	3.1	x	x	6.8	8.9	10.3	x	x
B1	2.8	5.1	6.6	x	x	6.3	8.3	9.7	x	x	3.6	5.8	7.2	x	x	8.3	10.4	11.8	x	x
B2	6.2	8.5	10.1	x	x	7.1	9.2	10.6	x	x	4.7	6.9	8.4	x	x	9.4	11.5	12.9	x	x

ESTABILIZACION CON EMULSION ASFALTICA Y SOBRECAPA: JUAN VIÑAS - TURRIALBA

Espesor a escarificar (espesor en "cm", o TOTAL)?

15

Tabla A4: Retrocálculo de módulos de rigidez.

ESCENARIOS PARA ESPESOR DE CAPA EXISTENTE (cm):

Espesor de capa (cm)	Percentil 70 de deflexiones					Percentil 15 de espesor					Percentil 85 de deflexiones					Percentil 15 de espesor				
	Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 15 de espesor				
	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x
	0.0	11.7	28.6	22.0	x	0.0	7.1	15.7	8.8	x	0.0	11.7	28.6	22.0	x	0.0	7.1	15.7	10.0	x

MODULOS DE RIGIDEZ RETROCALCULADOS (psi):

Segmento	Percentil 70 de deflexiones					Percentil 15 de espesor					Percentil 85 de deflexiones					Percentil 15 de espesor				
	Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 15 de espesor				
	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR
A1	400000	32000	25000	15000	8000	400000	35000	25000	15000	9000	400000	30000	22000	12000	7000	400000	35000	25000	15000	8000
B1	350000	26000	20000	12000	6000	400000	30000	22000	12000	6000	300000	24000	16000	12000	10500	350000	30000	20000	10000	10500
B2	330000	24000	18000	11000	4750	350000	30000	20000	11000	4750	280000	20000	16000	11000	4500	350000	28000	16000	9000	4500

Tabla A5: Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA CAPAS EXISTENTES:

Segmento	Percentil 70 de deflexiones					Percentil 15 de espesor					Percentil 85 de deflexiones					Percentil 15 de espesor				
	Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 50 de espesor					Percentil 15 de espesor				
	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x
A1	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x
B1	0.380	0.120	0.130	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.360	0.110	0.110	0.080	x	0.380	0.140	0.130	0.060	x
B2	0.370	0.110	0.130	0.070	x	0.380	0.140	0.130	0.070	x	0.350	0.100	0.110	0.070	x	0.380	0.130	0.110	0.060	x

Tabla A5 (cont'd): Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO EXISTENTE:

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				
	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe
A1	0.00	0.64	1.58	0.87	3.09	0.00	0.39	0.87	0.35	1.60	0.00	0.64	1.58	0.69	2.91	0.00	0.39	0.87	0.39	1.65
B1	0.00	0.55	1.46	0.69	2.71	0.00	0.39	0.87	0.28	1.53	0.00	0.51	1.24	0.69	2.44	0.00	0.39	0.80	0.24	1.43
B2	0.00	0.51	1.46	0.61	2.58	0.00	0.39	0.80	0.24	1.44	0.00	0.46	1.24	0.61	2.31	0.00	0.36	0.68	0.24	1.28

Tabla A6: Cálculo de espesor de sobrecapa.

ESCENARIOS DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL REQUERIDA:

Escenario	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
EEQ (E6)	4.0	7.0	10.0	x	x

SN REQUERIDO POR SEGMENTO

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	4.09	4.44	4.67	x	x	3.93	4.27	4.5	x	x	4.28	4.64	4.88	x	x	4.09	4.44	4.67	x	x
B1	4.51	4.88	5.13	x	x	4.51	4.88	5.13	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x
B2	4.87	5.26	5.52	x	x	4.87	5.26	5.52	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x

Tabla A6 (cont'd): Cálculo de espesor de sobrecapa.

NUMERO ESTRUCTURAL ADICIONAL REQUERIDO:

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	1.00	1.35	1.58	x	x	2.33	2.67	2.90	x	x	1.37	1.73	1.97	x	x	2.44	2.79	3.02	x	x
B1	1.38	1.73	1.96	x	x	2.40	2.74	2.97	x	x	1.84	2.20	2.44	x	x	2.66	3.01	3.24	x	x
B2	1.51	1.86	2.09	x	x	2.49	2.83	3.06	x	x	1.97	2.33	2.57	x	x	2.81	3.16	3.39	x	x

Coefficiente estructural de capa estabilizada (base estabilizada)

0.2

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

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

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
A1	0.0	1.0	2.4	x	x	6.9	9.0	10.4	x	x	1.1	3.3	4.7	x	x	7.6	9.7	11.1	x	x
B1	1.2	3.3	4.7	x	x	7.3	9.4	10.8	x	x	4.0	6.2	7.6	x	x	8.9	11.1	12.4	x	x
B2	2.0	4.1	5.5	x	x	7.9	10.0	11.4	x	x	4.8	7.0	8.4	x	x	9.9	12.0	13.4	x	x

ESTABILIZACION CON CEMENTO Y SOBRECAPA: JUAN VIÑAS - TURRIALBA

Espesor a escarificar (espesor en "cm", o TOTAL)?

15

Tabla A7: 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	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x	Carp.	Base	SB1	SB2	x
	0.0	11.7	28.6	22.0	x	0.0	7.1	15.7	8.8	x	0.0	11.7	28.6	22.0	x	0.0	7.1	15.7	10.0	x

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	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR	Carp.	Base	SB1	SB2	SR
1	400000	32000	25000	15000	8000	400000	35000	25000	15000	9000	400000	30000	22000	12000	7000	400000	35000	25000	15000	8000
2	350000	26000	20000	12000	6000	400000	30000	22000	12000	6000	300000	24000	16000	12000	10500	350000	30000	20000	10000	10500
3	330000	24000	18000	11000	4750	350000	30000	20000	11000	4750	280000	20000	16000	11000	4500	350000	28000	16000	9000	4500

Tabla A8: Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA CAPAS EXISTENTES:

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				
	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x	a1	a2	a3	a4	x
1	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.100	x
2	0.380	0.120	0.130	0.080	x	0.400	0.140	0.140	0.080	x	0.360	0.110	0.110	0.080	x	0.380	0.140	0.130	0.060	x
3	0.370	0.110	0.130	0.070	x	0.380	0.140	0.130	0.070	x	0.350	0.100	0.110	0.070	x	0.380	0.130	0.110	0.060	x

Tabla A9 (cont'd): Cálculo de número estructural efectivo existente.

CALCULO DE NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO EXISTENTE:

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				
	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe	a1*h1	a2*h2	a3*h3	a4*h4	SNe
1	0.00	0.64	1.58	0.87	3.09	0.00	0.39	0.87	0.35	1.60	0.00	0.64	1.58	0.69	2.91	0.00	0.39	0.87	0.39	1.65
2	0.00	0.55	1.46	0.69	2.71	0.00	0.39	0.87	0.28	1.53	0.00	0.51	1.24	0.69	2.44	0.00	0.39	0.80	0.24	1.43
3	0.00	0.51	1.46	0.61	2.58	0.00	0.39	0.80	0.24	1.44	0.00	0.46	1.24	0.61	2.31	0.00	0.36	0.68	0.24	1.28

Tabla A9: Cálculo de espesor de sobrecapa.

ESCENARIOS DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL REQUERIDA:

Escenario	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
EEQ (E6)	4.0	7.0	10.0	x	x

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
1	4.09	4.44	4.67	x	x	3.93	4.27	4.5	x	x	4.28	4.64	4.88	x	x	4.09	4.44	4.67	x	x
2	4.51	4.88	5.13	x	x	4.51	4.88	5.13	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x	3.72	4.05	4.27	x	x
3	4.87	5.26	5.52	x	x	4.87	5.26	5.52	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x	4.96	5.35	5.61	x	x

Tabla A9 (cont'd): Cálculo de espesor de sobrecapa.

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	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
1	1.00	1.35	1.58	x	x	2.33	2.67	2.90	x	x	1.37	1.73	1.97	x	x	2.44	2.79	3.02	x	x
2	1.38	1.73	1.96	x	x	2.40	2.74	2.97	x	x	1.84	2.20	2.44	x	x	2.66	3.01	3.24	x	x
3	1.51	1.86	2.09	x	x	2.49	2.83	3.06	x	x	1.97	2.33	2.57	x	x	2.81	3.16	3.39	x	x

Coficiente estructural de capa estabilizada (base estabilizada)

0.185

Tabla A9 (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 15 de esp.					Percentil 50 de esp.					Percentil 15 de esp.				
	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5	EEQ1	EEQ2	EEQ3	EEQ4	EEQ5
1	x	1.6	3.0	x	x	7.5	9.5	10.9	x	x	1.7	3.8	5.3	x	x	8.1	10.3	11.7	x	x
2	1.7	3.9	5.2	x	x	7.9	9.9	11.3	x	x	4.5	6.7	8.2	x	x	9.5	11.6	13.0	x	x
3	2.5	4.7	6.1	x	x	8.5	10.5	11.9	x	x	5.3	7.5	9.0	x	x	10.4	12.5	13.9	x	x