

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO
DE REHABILITACIÓN
(CARRETERA JIMÉNEZ-SIQUIRRES)**

INFORME PRELIMINAR



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

LANAMME – PITRA

MEMORANDUM

PARA: Marcos Rodríguez, Federico Baltodano
DE: Mario Arce
ASUNTO: Análisis estructural en Ruta 32
FECHA: 20 de diciembre del 2001

Estimados señores:

Adjunto les remito el análisis estructural realizado en el tramo Jiménez-Siquirres de la Ruta 32 (Informe preliminar).

Queda a su disposición para cualquier aclaración que estimen conveniente.

Los saluda,

Mario Arce

Análisis Estructural y Diseño de Rehabilitación (carretera Jiménez – Siquirres, ruta 32)

INFOME PRELIMINAR

1. Introducción

Este informe desarrolla dos temas principales:

- Evaluación de la condición actual de la estructura de pavimento y las cargas de tránsito.
- Análisis de posibles intervenciones de rehabilitación con lo cual se obtiene la vida útil probable de cada una de ellas, de manera que permitan obtener un criterio técnico para seleccionar la intervención que se decida realizar.

En este informe la ruta evaluada se divide con base en dos categorías, la primera según la evaluación visual de la condición superficial de la capa asfáltica y la segunda con base en los resultados obtenidos con el ensayo de Viga Benkelman.

2. Evaluación visual de la condición superficial de la capa asfáltica

Con base en la evaluación visual realizada en campo, el proyecto se dividió en 5 secciones:

Sección 1

Ubicación: Río Jiménez - Entrada de lastre a Finca San Ignacio

Estacionamiento: 0+000 al 2+500

Longitud de la sección: 2.5 km

Descripción: Constante presencia de cuero de lagarto muy severo, e inclusive la severidad es tal que ciertas zonas pueden considerarse como baches abiertos, ya que la base está totalmente expuesta. Existen pocos baches cerrados, los cuales presentan en su mayoría el mismo deterioro, son escasos los que presentan una condición moderada y no severa como en la totalidad de la sección.

Sección 2

Ubicación: Entrada de lastre a Finca San Ignacio – Guácimo

Estacionamiento: 2+500 al 6+250

Longitud de la sección: 3.75 km

Descripción: Se presenta cuero de lagarto con severidad leve y moderada. Las deformaciones permanentes son moderadas (entre 4 y 8 mm) y leves en algunas tramos de la sección.

Sección 3

Ubicación: Guácimo – Parismina

Estacionamiento: 6+250 – 10+350

Longitud de la sección: 4.1 km

Descripción: La principal característica del tramo es la presencia de deformaciones permanentes de alta severidad a lo largo de la sección.

En la primera mitad de la sección predominan deformaciones permanentes muy severas con cuero de lagarto de moderado a severo. Debido a la severidad de las deformaciones permanentes, la mezcla tiende a desplazarse y a agrietarse en los bordes de las huellas, principalmente en la huella externa.

La segunda mitad de la sección se caracteriza por deformaciones permanentes muy severas y grandes desplazamientos de mezcla.

Existen pocos baches abiertos y una mayor cantidad de baches cerrados, principalmente donde hay problemas de desplazamientos de mezcla. En algunos puntos, asociado al agrietamiento severo por fatiga se observan hundimientos muy localizados (únicamente sobre la huella).

Sección 4

Ubicación: Parismina – Pocora

Estacionamiento: 10+350 al 15+900

Longitud de la sección: 5.55 km

Descripción: Es una sección similar a la sección 2, excepto que esta sección cuenta con alta presencia de baches cerrados.

Al inicio de la sección, hay un pequeño tramo de aproximadamente 1 km, que presenta deformación permanente moderadas y agrietamiento por fatiga entre moderado y severo.

El resto de la sección se caracteriza por dos aspectos:

1. una parte de la sección tiene alta presencia de baches cerrados (15% del área), que se encuentran en buen estado, deformación permanente leve y agrietamiento por fatiga leve.

2. la otra parte presenta baches cerrados pero en menor cantidad y el agrietamiento por fatiga es de severidad moderada.

Sección 5

Ubicación: Pocora – Siquirres

Estacionamiento: 15+900 – 29+400

Longitud de la sección: 13.5 km

Descripción: Es una sección similar a la sección 1, con agrietamiento por fatiga muy severo y además en algunos tramos se presentan deformaciones permanentes moderadas.

Existen pocos baches cerrados, y algunos de ellos están fallando por agrietamiento en su contorno. Además se aprecian muchos baches cerrados viejos, mal cortados, que parecen una corcha ya que se levantan sobre el nivel de rasante.

En algunos puntos donde existe agrietamiento muy severo sobre las huellas, se presentan hundimientos.

En el Anexo 1 se muestra un mapa con la ubicación del proyecto y la señalización de las secciones evaluadas, además de una serie de fotografías representativas del proyecto.

2. Determinación de módulos resilientes para las capas de la estructura del pavimento existente

Con base en los datos obtenidos en los ensayos de deflectometría con Viga Benkelman realizados en la ruta 32, entre Jiménez y Siquirres, se dividió el proyecto en tres tramos de diseño:

- *Tramo A*

Incluye dos tramos, el primero abarca desde Jiménez (0+000) hasta Parismina (10+350) y el segundo desde Pocora (15+900) hasta la estación 21+500 (aproximadamente 600 m antes del restaurante "La Pejibayera"). Longitud total del tramo: 14.85 km.

- *Tramo A"*

En el tramo A, existe un trayecto de 1.1 km que presenta valores de deflexión diferentes al comportamiento de los otros datos, por esta razón se hace un tramo A". El tramo A" inicia en la estación 1+600 y finaliza en la 2+700. Longitud total del tramo: 1.1 km.

- *Tramo B*

Incluye dos tramos, el primero abarca desde Parismina (10+350) hasta Pocora (15+900) y el segundo de la estación 21+500 (aproximadamente 600 m antes del restaurante "La Pejibayera") hasta Siquirres (29+300). Longitud total del tramo: 13.35 km.

Para el cálculo de los módulos resilientes de las capas de la estructura de pavimento existente, se utilizan los datos de deflectometría que se muestran en el Anexo 2. En la tabla N°1 aparecen los resultados de deflexiones de diseño para un nivel de confianza del 85% ($Z_R = 1.037$).

Tabla N°1: Resumen de deflexiones para diseño para un nivel de confianza del 85%

Tramo	Deflexión promedio (X) (1/100 mm)	Desviación estándar (S) (1/100 mm)	$X + 1.037S$ (1/100 mm)
A	63.85	15.48	79.90
A"	77.82	21.92	100.55
B	54.44	12.02	66.90

Para la sección típica del pavimento existente (ver figura N°1) se realiza el cálculo de los módulos resilientes como se muestra a continuación. El retrocálculo de módulos se hace considerando dos escenarios de diseño:

- Escenario de diseño conservador: en este caso se utilizan módulos resilientes bajos para la base granular, simulando la condición más crítica (invierno) durante todo el año.
- Escenario de diseño probable: se utilizan módulos resilientes representativos de todo el año, considerando así la variación de módulos en invierno y verano. Este caso posee un alto nivel de confiabilidad.

Las opciones de rehabilitación que se presentan en este informe, se analizan en los dos escenarios de diseño citados anteriormente.

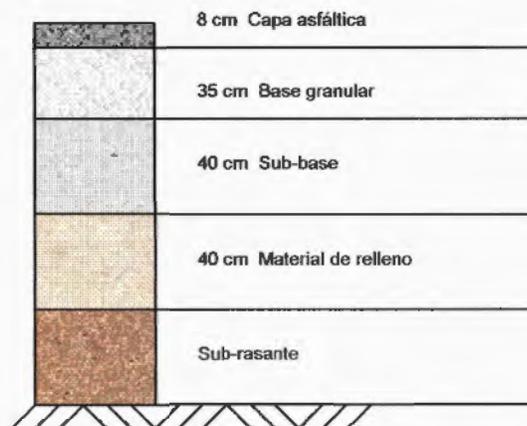


Figura N°1: Perfil típico de la estructura del pavimento existente

Tabla N°2: Módulos resilientes para tramos de diseño (Escenario conservador)

Tramo	Capa asfáltica (psi)	Base granular (psi)	Sub-base (psi)	Relleno (psi)	Sub-rasante (psi)	Deflexión medida (1/100 mm)	Deflexión calculada (1/100 mm)	Diferencia (%)
A	120000	35000	20000	11000	8500	79.90	79.76	0.18
A"	80000	27000	18000	10000	7000	100.55	100.33	0.22
B	160000	38000	23000	13000	11000	66.90	67.06	0.23

Tabla N°3: Módulos resilientes para tramos de diseño. (Escenario probable)

Tramo	Capa asfáltica (psi)	Base granular (psi)	Sub-base (psi)	Relleno (psi)	Sub-rasante (psi)	Deflexión medida (1/100 mm)	Deflexión calculada (1/100 mm)	Diferencia (%)
A	120000	41000	19000	9500	7500	79.90	80.01	0.13
A"	80000	32000	17000	9000	6000	100.55	100.58	0.03
B	160000	45000	21500	11500	9500	66.90	67.06	0.23

3. Cálculo de las cargas de tránsito sobre la estructura de pavimento

A partir de la información recopilada con la Unidad Logística del Departamento de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes se estiman los ejes equivalentes para comparar las opciones de rehabilitación.

La estimación de ejes equivalentes se hace considerando dos casos, uno que es el rango probable de cargas y otro con un rango alto de cargas, como se muestra en la Tabla N°4. El rango alto de cargas es una situación crítica que considera el sobrepeso de los camiones de carga.

Según la tabla N°4 se tienen 0.524 aplicaciones de ejes equivalentes por vehículo si se considera el rango probable de cargas, mientras que para el rango alto de cargas se tienen 0.691 aplicaciones de ejes equivalentes por vehículo.

Tabla N°4: Cálculo de ejes equivalentes por vehículo

Tipo de vehículo	Distribución vehicular (%)	Factor de carga		Ejes equivalentes por vehículo	
		Rango probable	Rango alto	Rango probable	Rango alto
Livianos	35.01	0.0005	0.0010	0.00018	0.00035
Carga liviana	30.01	0.0500	0.1500	0.01501	0.04502
Bus	4.90	0.7500	1.0000	0.03675	0.04900
2 Ejes	9.99	0.8000	1.1000	0.07992	0.10989
3 Ejes	1.51	1.3500	1.5000	0.02039	0.02265
5 Ejes	18.58	2.0000	2.5000	0.37160	0.46450
Sumatoria	100.00	ESAL's / vehículo		0.524	0.691

Con base en la información anterior se estiman los ejes equivalentes esperados en cada año (ver Tabla N°5).

Tabla N°5: Estimación de ejes equivalentes, considerando un 5% como factor de crecimiento

Año	TPD	Ejes equivalentes por vehículo		Ejes equivalentes estimados por año		Ejes equivalentes acumulados	
		Rango probable	Rango alto	Rango probable	Rango alto	Rango probable	Rango alto
1999	7390	0.524	0.691	706706	931934		
2000	7760	0.524	0.691	742041	978531		
2001	8147	0.524	0.691	779143	1027458		
2002	8555	0.524	0.691	818100	1078831	818100	1078831
2003	8983	0.524	0.691	859005	1132772	1677105	2211603
2004	9432	0.524	0.691	901955	1189411	2579061	3401013
2005	9903	0.524	0.691	947053	1248881	3526114	4649895
2006	10398	0.524	0.691	994406	1311325	4520520	5961220
2007	10918	0.524	0.691	1044126	1376892	5564646	7338112
2008	11464	0.524	0.691	1096332	1445736	6660979	8783848
2009	12038	0.524	0.691	1151149	1518023	7812128	10301871
2010	12639	0.524	0.691	1208707	1593924	9020834	11895795
2011	13271	0.524	0.691	1269142	1673620	10289976	13569415
2012	13935	0.524	0.691	1332599	1757301	11622575	15326717
2013	14632	0.524	0.691	1399229	1845166	13021804	17171883
2014	15363	0.524	0.691	1469190	1937425	14490995	19109308
2015	16131	0.524	0.691	1542650	2034296	16033644	21143604

4. Capacidad estructural de las opciones de rehabilitación propuestas

A continuación se plantean 5 opciones de rehabilitación, 3 son propuestas de rehabilitación a corto plazo, mientras que las dos últimas son a largo plazo. En todas se considera la colocación de una capa de base estabilizada y la colocación de una nueva sobrecapa asfáltica. Para cada una de las opciones se hace un análisis de la capacidad estructural del pavimento, basándose principalmente en el análisis de fatiga en la base estabilizada, que es la capa crítica en el diseño. Esto se hace para los dos escenarios de diseño.

Opción de rehabilitación N° 1

Se propone escarificar totalmente la capa asfáltica existente (8 cm) más 15 cm de base granular existente. Esto conforma una nueva capa de 23 cm, que sería la nueva base estabilizada. Sobre esta nueva capa se debe colocar una sobrecapa asfáltica de 8 cm.

En la figura N°2 se aprecia el perfil de la estructura de pavimento propuesta. El espesor de capa de base granular equivalente que aparece en esta figura corresponde a un espesor equivalente que incluye la capa de base remanente más la capa de sub-base. En las tablas N°6 y N°7 se muestran los cálculos del espesor equivalente de base para cada escenario de diseño.

En las tablas N°8 y N°9 se presentan los resultados del análisis de fatiga para la estructura de la opción N°1.

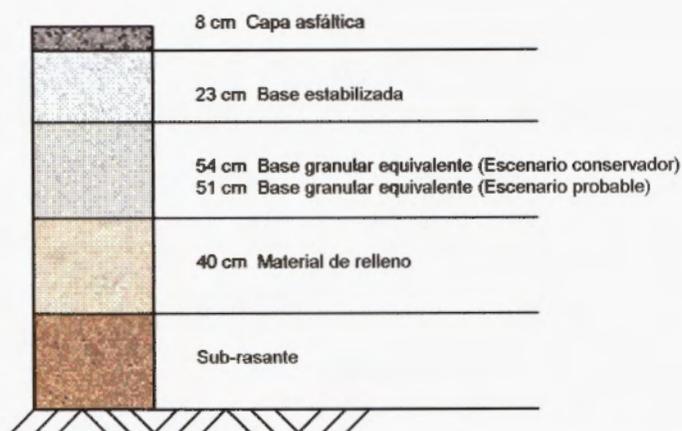


Figura N°2: Perfil de la estructura del pavimento propuesta en la opción N°1.

Tabla N°6: Cálculo de espesor equivalente de base para opción N°1 (Escenario conservador)

Parámetro por evaluar	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Espesor de la base (cm)	20	20	20
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Espesor de la sub-base (cm)	40	40	40
Módulo resiliente de la sub-base (psi)	20000	18000	23000
Espesor de base equivalente (cm)	53.2	54.9	53.8

Tabla N°7: Cálculo de espesor equivalente de base para opción N°1 (Escenario probable)

Parámetro por evaluar	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Espesor de la base (cm)	20	20	20
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Espesor de la sub-base (cm)	40	40	40
Módulo resiliente de la sub-base (psi)	19000	17000	21500
Espesor de base equivalente (cm)	51.0	52.4	51.3

Como se aprecia en las tablas N°8 y N°9, colocando una base estabilizada de 23 cm con una sobrecapa de 8 cm, con un nivel de confianza del 85% se puede decir que en la base estabilizada iniciarían fisuras por fatiga en el mismo año de construcción (2002); esto para los dos escenarios de diseño, el conservador y el probable. En la sub-rasante no hay problemas de fatiga, esta soporta más de 750 millones de ejes equivalentes.

Tabla N°8: Resultados del análisis a fatiga para la opción N°1 (Escenario conservador)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	11000	10000	13000
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	8500	7000	11000
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	3.44	3.77	3.29
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000836	0.0000986	0.0000697
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.56	0.61	0.53
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	200000	65000	600000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	2.5E+09	1.2E+09	5.6E+09

Tabla N°9: Resultados del análisis a fatiga para la opción N°1 (Escenario probable)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	9500	9000	11500
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	7500	6000	9500
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	3.31	3.64	3.15
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000901	0.000109	0.0000763
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.54	0.59	0.51
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	350000	90000	800000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	1.8E+09	7.5E+08	3.7E+09

Opción de rehabilitación N° 2

Se propone escarificar totalmente la capa asfáltica existente (8 cm) más 17 cm de la base granular existente. Esto conforma una nueva capa de 25 cm, que sería la nueva base estabilizada. Sobre esta nueva capa, se debe colocar una sobrecapa asfáltica de 8.0 cm

En la figura N°3 se aprecia el perfil de la estructura de pavimento propuesta. El espesor de la capa de base granular equivalente que aparece en esta figura corresponde a un espesor equivalente que incluye la capa de base remanente más la capa de sub-base. En las tablas N°10 y N°11 se muestran los cálculos del espesor equivalente de base para los escenarios de diseño.

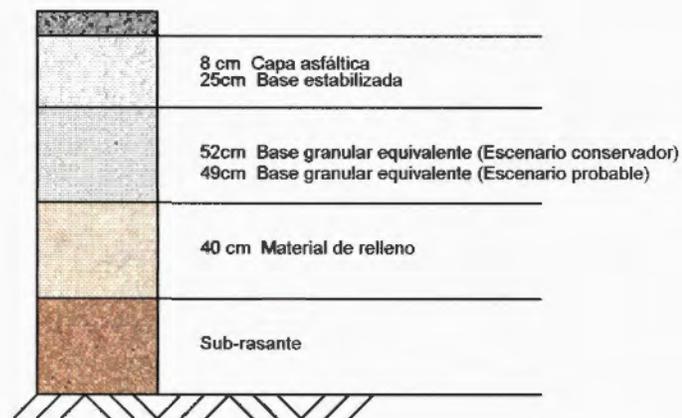


Figura N°3 Perfil de la estructura del pavimento propuesta en la opción N°2.

Tabla N°10: Cálculo de espesor equivalente de base para la opción N°2
(Escenario conservador)

Parámetro por evaluar	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Espesor de la base (cm)	18	18	18
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Espesor de la sub-base (cm)	40	40	40
Módulo resiliente de la sub-base (psi)	20000	18000	23000
Espesor de base equivalente (cm)	51.2	52.9	51.8

Tabla N°11: Cálculo de espesor equivalente de base para la opción N°2
(Escenario probable)

Parámetro por evaluar	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Espesor de la base (cm)	18	18	18
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Espesor de la sub-base (cm)	40	40	40
Módulo resiliente de la sub-base (psi)	19000	17000	21500
Espesor de base equivalente (cm)	49.0	50.4	49.3

En las tablas N°12 y N°13 se muestran los resultados del análisis a fatiga de la opción N°2. Considerando el escenario conservador, se tiene con un nivel de confianza del 85% que los tramos A y A" iniciarían el proceso de falla por fatiga en la base estabilizada en el año 2002 y el tramo B lo haría el año 2003. Para el escenario probable se tiene con un 85% de confianza que la base estabilizada mostraría las primeras fisuras por fatiga en el año 2002 para el tramo A", 2003 para el tramo A y en el año 2004 para el tramo B.

Tabla N°12: Resultados del análisis a fatiga para la opción N°2 (Escenario conservador)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	11000	10000	13000
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	8500	7000	11000
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm2)	3.14	3.44	3.01
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000808	0.0000950	0.0000673
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm2)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.51	0.56	0.49
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	800000	200000	1500000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	2.9E+09	1.4E+09	6.5E+09

Tabla N°13: Resultados del análisis a fatiga para la opción N°2 (Escenario probable)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	9500	9000	11500
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	7500	6000	9500
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm2)	3.04	3.35	2.89
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000873	0.0001050	0.0000739
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm2)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.49	0.54	0.47
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	1500000	350000	3000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	2.0E+09	8.9E+08	4.3E+09

Opción de rehabilitación N° 3

La opción N°3 es similar a la N°2, excepto que en esta se propone colocar una sobrecapa asfáltica de 9 cm y no de 8 cm como en la opción anterior. En la figura N°4 se aprecia el perfil de la estructura de pavimento propuesta.

En las tablas N°14 y N°15 se muestran los resultados del análisis a fatiga de la opción N°3. Considerando el escenario conservador de diseño y con un nivel de confianza del 85%, se tiene que la base estabilizada iniciaría el proceso de falla por fatiga en el año 2002 para el tramo A", 2003 para el tramo A y en el año 2004 para el tramo B. Para el escenario probable, con el mismo nivel de confianza se tiene que la base estabilizada iniciaría la falla por fatiga en el año 2002 el tramo A", 2004 el tramo A y en el año 2006 el tramo B.

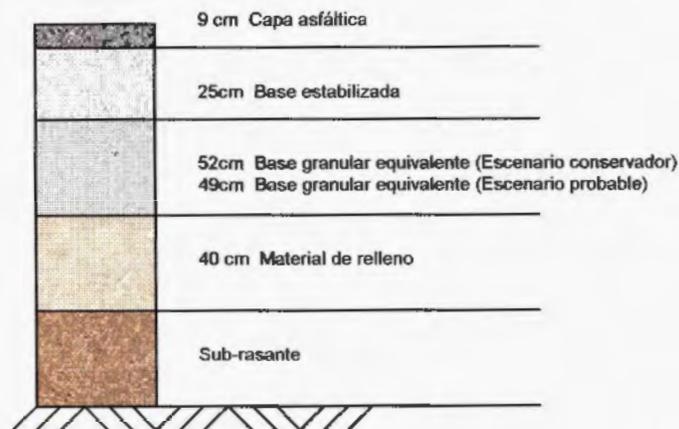


Figura N°4 Perfil de la estructura del pavimento propuesta en la opción N°3.

Tabla N°14: Resultados del análisis a fatiga para opción N°3 (Escenario conservador)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	11000	10000	13000
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	8500	7000	11000
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	3.01	3.30	2.89
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000790	0.0000929	0.0000658
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.49	0.54	0.47
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	1500000	350000	3000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	3.2E+09	1.5E+09	7.2E+09

Tabla N°15: Resultados del análisis a fatiga para opción N°3 (Escenario probable)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	9500	9000	11500
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	7500	6000	9500
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	2.92	3.21	2.77
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000854	0.0001030	0.0000723
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.47	0.52	0.45
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	3000000	700000	5000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	2.2E+09	9.7E+08	4.7E+09

Opción de rehabilitación N°4

Esta opción de rehabilitación es a largo plazo. Consiste en escarificar la capa asfáltica existente (8 cm) más 17cm de base granular existente, Este material escarificado conforma una nueva capa de 25 cm, que sería la nueva capa de base estabilizada. Sobre esta capa se propone colocar una sobrecapa asfáltica de 13 cm. En la figura N°5 se muestra el perfil de la opción N°4.

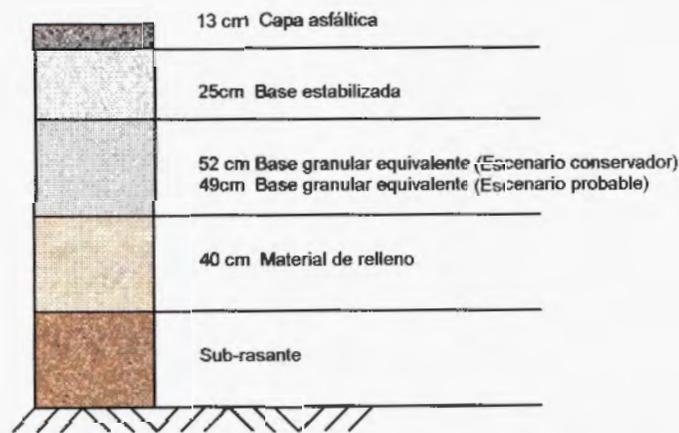


Figura N°5 Perfil de la estructura del pavimento propuesta en la opción N°4

El espesor de base granular equivalente que aparece en la figura anterior corresponde a la capa de base granular remanente más la capa de sub-base.

En las tabla N°16 y N°17 se presenta el análisis de fatiga para la opción N°4.

Tabla N°16: Resultados del análisis a fatiga para opción N°4 (Escenario conservador)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	11000	10000	13000
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	8500	7000	11000
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	2.58	2.82	2.47
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000727	0.0000853	0.0000604
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.42	0.46	0.40
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	8500000	4000000	12000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	4.6E+09	2.3E+09	1.1E+10

Tabla N°17: Resultados del análisis a fatiga para opción N°4 (Escenario probable)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	9500	9000	11500
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	7500	6000	9500
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm ²)	2.51	2.76	2.39
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000788	0.0000950	0.0000666
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm ²)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.41	0.45	0.39
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	10000000	5000000	15000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	3.2E+09	1.4E+09	6.8E+09

Considerando el escenario conservador de diseño y con un nivel de confianza del 85%, se tiene que la base estabilizada iniciaría el proceso de falla por fatiga en el año 2005 para el tramo A", 2008 para el tramo A y en el año 2011 el tramo B. Para el escenario probable y con el mismo nivel de confianza se tiene que la base presentaría fisuras por fatiga a partir del año 2006 para el tramo A", 2010 para el tramo A y en el año 2012 para el tramo B.

Opción de rehabilitación N°5

Esta opción es similar a la opción N°4, excepto que se van a colocar 15 cm de sobrecapa asfáltica. En la figura N°6 se muestra el perfil de la estructura propuesta.

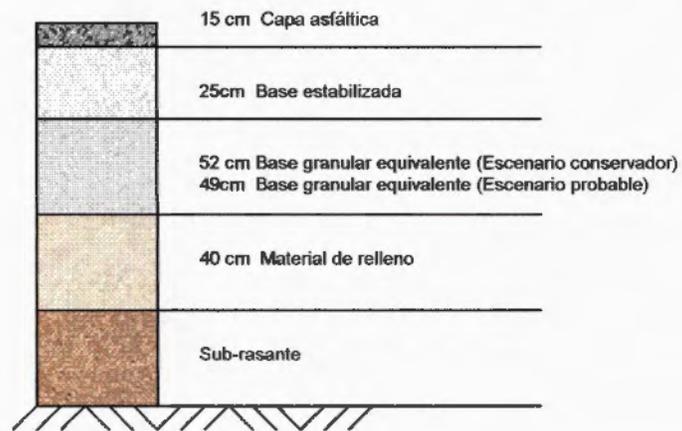


Figura N°6 Perfil de la estructura del pavimento propuesta en la opción N°5

En las tablas N°18 y N°19 se muestran los resultados del análisis de fatiga para la opción N°5.

Tabla N°18: Resultados del análisis a fatiga para opción N°5 (Escenario conservador)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	35000	27000	38000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	11000	10000	13000
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	8500	7000	11000
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm2)	2.41	2.63	2.30
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000700	0.0000821	0.0000581
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm2)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.39	0.43	0.37
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	15000000	7500000	40000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	5.5E+09	2.7E+09	1.3E+10

Tabla N°19: Resultados del análisis a fatiga para opción N°5 (Escenario probable)

Parámetro	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
Longitud total del tramo (km)	14.85	1.10	13.35
Módulo resiliente de la capa asfáltica (psi)	400000	400000	400000
Módulo resiliente de la base estabilizada (psi)	600000	600000	600000
Módulo resiliente de la base (psi)	41000	32000	45000
Módulo resiliente del material de relleno (psi)	9500	9000	11500
Módulo resiliente de la sub-rasante (psi)	7500	6000	9500
Esfuerzo aplicado en la base estabilizada (kg/cm2)	2.35	2.57	2.23
Deformación unitaria vertical en la sub-rasante	0.0000760	0.0000915	0.0000641
Esfuerzo de rotura de la base estabilizada (kg/cm2)	6.15	6.15	6.15
Relación (esfuerzo aplicado)/(esfuerzo rotura)	0.38	0.42	0.36
NBE (# de pasadas permisibles en base estabilizada)	25000000	8500000	50000000
ND (# de pasadas permisibles en la sub-rasante)	3.8E+09	1.6E+09	8.1E+09

Para la esta opción de rehabilitación, considerando el escenario conservador de diseño y con un nivel de confianza del 85%, se tiene que la base estabilizada iniciaría el proceso de falla por fatiga en el año 2008 para el tramo A", 2012 para el tramo A y el tramo B mantendría su capacidad a fatiga más allá del año 2015. Para el escenario probable de diseño y con el mismo nivel de confianza se tiene que la base iniciaría el proceso de falla por fatiga en el año 2008 para el tramo A", y los tramos A y B mantendrían su resistencia más allá del año 2015.

5. Requerimientos de capacidad estructural para diferentes escenarios de diseño

Con base en la metodología de la Guía para el diseño de pavimentos de la Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes (AASHTO) y aplicando los siguientes parámetros de diseño se calcula el número estructural requerido.

- Escenarios de carga de: 2×10^6 , 5×10^6 , 8×10^6 y 12×10^6 millones de ejes equivalentes. (Ver apartado 3).
- Nivel de confianza del 90%.
- Pérdida del nivel de servicio de 1.7
- Desviación estándar del proceso constructivo de 0.40
- Tres escenarios de módulos resilientes para la sub-rasante, de acuerdo con la tabla N°2.

Los números estructurales requeridos para cada escenario de diseño se muestran en la tabla N°20, y la capacidad estructural propuesta en las opciones de rehabilitación aparecen en las tablas N°21, N°22, N°23, N°24 y N°25.

Tabla N°20: Requerimientos de capacidad estructural

Ejes equivalentes de diseño	Tramo A	Tramo A"	Tramo B
2.0E+06	3.8	4.1	3.5
5.0E+06	4.4	4.7	4.0
8.0E+06	4.7	5.1	4.3
1.2E+07	5.0	5.4	4.6

Tabla N°21: Capacidad estructural de soporte para la opción de rehabilitación N°1 (Escenario probable)

Tramo	Capa	Espesor (cm)	Módulo (psi)	Coefficiente estructural	SN aportado
A	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.5
	base estabilizada	23	600000	0.20	
	base equivalente	51	41000	0.12	
	material de relleno	40	9500	-	
	sub-rasante	-	7500	-	
A"	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.3
	base estabilizada	23	600000	0.20	
	base equivalente	51	32000	0.11	
	material de relleno	40	9000	-	
	sub-rasante	-	6000	-	
B	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.5
	base estabilizada	23	600000	0.20	
	base equivalente	51	45000	0.12	
	material de relleno	40	11500	-	
	sub-rasante	-	9500	-	

Tabla N°22: Capacidad estructural de soporte para la opción de rehabilitación N°2
(Escenario probable)

Tramo	Capa	Espesor (cm)	Módulo (psi)	Coefficiente estructural	SN aportado
A	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.5
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	41000	0.12	
	material de relleno	40	9500	-	
	sub-rasante	-	7500	-	
A"	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.4
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	32000	0.11	
	material de relleno	40	9000	-	
	sub-rasante	-	6000	-	
B	capa asfáltica	8	400000	0.40	5.5
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	45000	0.12	
	material de relleno	40	11500	-	
	sub-rasante	-	9500	-	

Tabla N°23: Capacidad estructural de soporte para la opción de rehabilitación N°3
(Escenario probable)

Tramo	Capa	Espesor (cm)	Módulo (psi)	Coefficiente estructural	SN aportado
A	capa asfáltica	9	400000	0.40	5.7
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	41000	0.12	
	material de relleno	40	9500	-	
	sub-rasante	-	7500	-	
A"	capa asfáltica	9	400000	0.40	5.5
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	32000	0.11	
	material de relleno	40	9000	-	
	sub-rasante	-	6000	-	
B	capa asfáltica	9	400000	0.40	5.7
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	45000	0.12	
	material de relleno	40	11500	-	
	sub-rasante	-	9500	-	

Tabla N°24: Capacidad estructural de soporte para la opción de rehabilitación N°4
(Escenario probable)

Tramo	Capa	Espesor (cm)	Módulo (psi)	Coefficiente estructural	SN aportado
A	capa asfáltica	13	400000	0.40	6.3
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	41000	0.12	
	material de relleno	40	9500	-	
	sub-rasante	-	7500	-	
A"	capa asfáltica	13	400000	0.40	6.1
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	32000	0.11	
	material de relleno	40	9000	-	
	sub-rasante	-	6000	-	
B	capa asfáltica	13	400000	0.40	6.3
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	45000	0.12	
	material de relleno	40	11500	-	
	sub-rasante	-	9500	-	

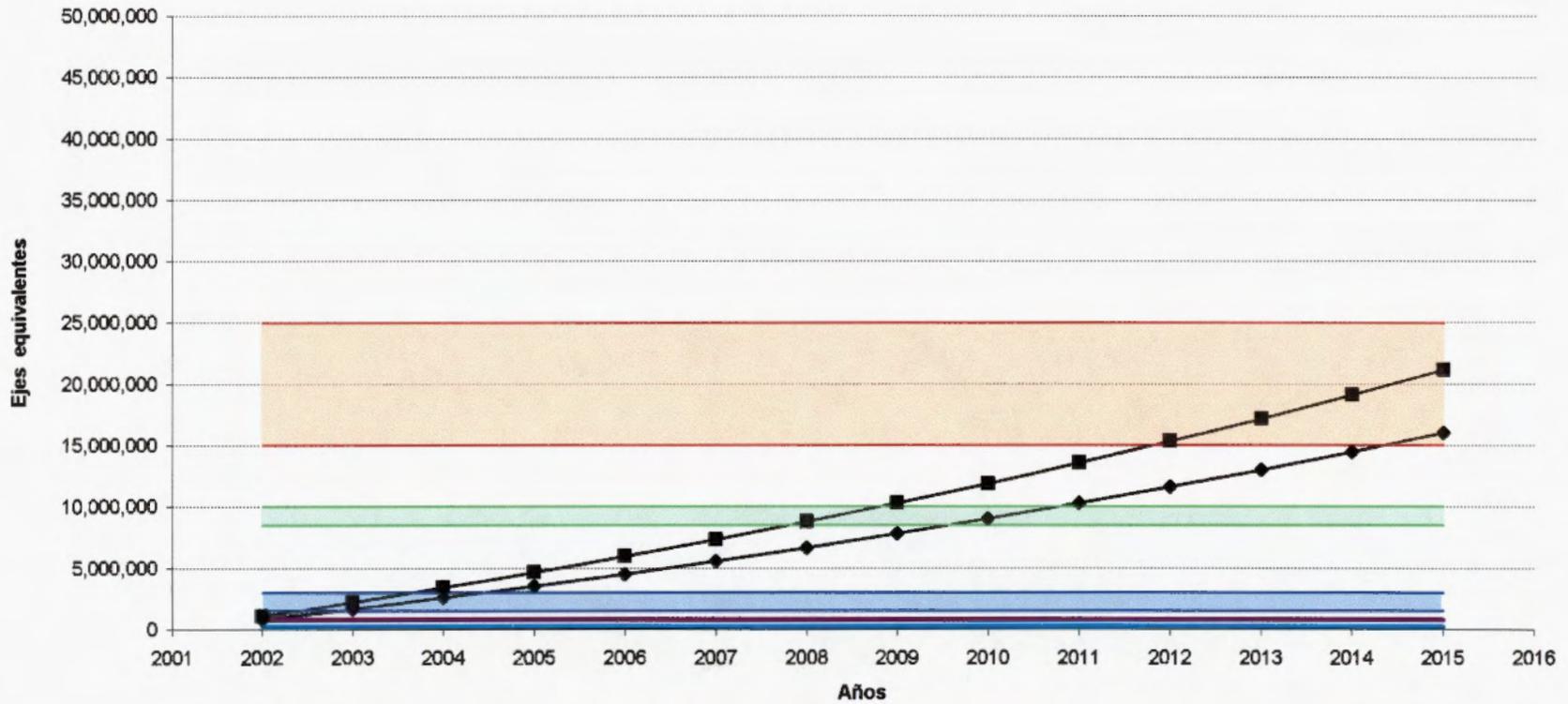
Tabla N°25: Capacidad estructural de soporte para la opción de rehabilitación N°5
(Escenario probable)

Tramo	Capa	Espesor (cm)	Módulo (psi)	Coefficiente estructural	SN aportado
A	capa asfáltica	15	400000	0.40	6.6
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	41000	0.12	
	material de relleno	40	9500	-	
	sub-rasante	-	7500	-	
A"	capa asfáltica	15	400000	0.40	6.5
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	32000	0.11	
	material de relleno	40	9000	-	
	sub-rasante	-	6000	-	
B	capa asfáltica	15	400000	0.40	6.6
	base estabilizada	25	600000	0.20	
	base equivalente	49	45000	0.12	
	material de relleno	40	11500	-	
	sub-rasante	-	9500	-	

6. Comparación de opciones de rehabilitación

Se hace una comparación de las 5 opciones de rehabilitación para cada tramo. Esta comparación se muestra en las siguientes figuras, donde se aprecian los rangos de carga analizados (rango de carga probable y rango de carga alto) y los rangos de capacidad que permite cada opción planteada.

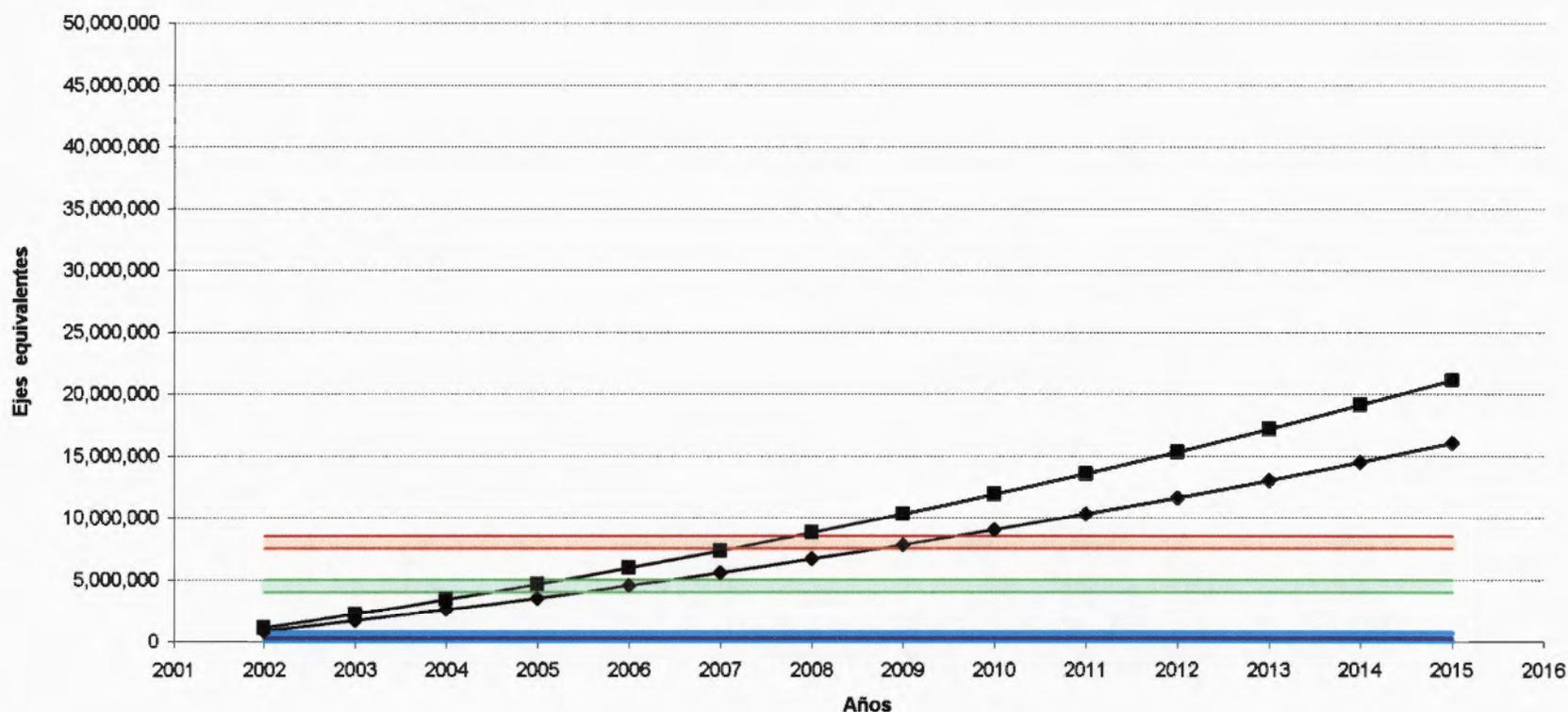
**Figura N°7: Comparación de Opciones de Rehabilitación
(TRAMO A)**



- ◆ Rango de carga probable
- Rango de carga alto
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°5
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°4
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°3
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°2
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°1

Nota: Los rangos que se muestran en la Figura N°7 corresponden a los dos escenarios de diseño que se analizan: escenario conservador y escenario probable.

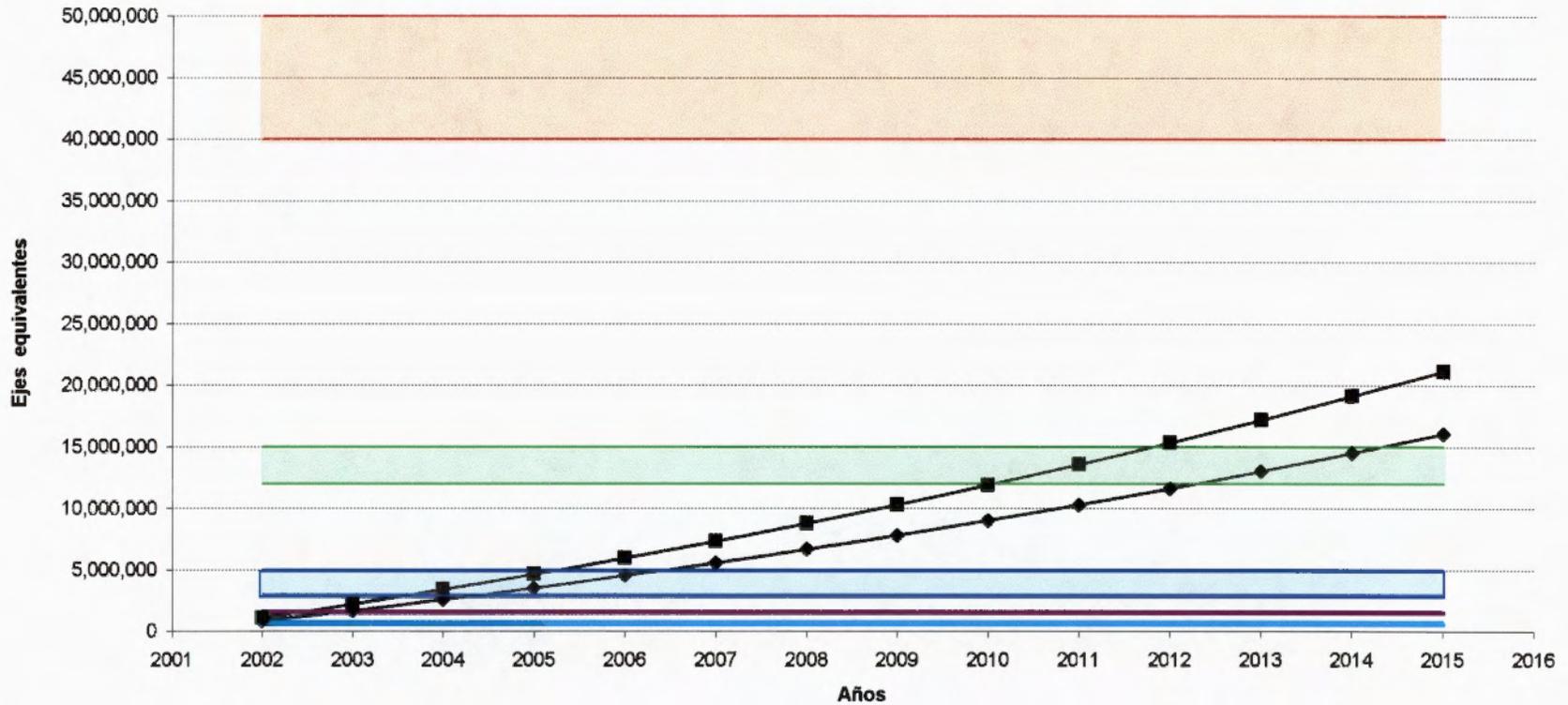
**Figura N°8: Comparación de Opciones de Rehabilitación
(TRAMO A")**



- ◆ Rango de carga probable
- Rango de carga alto
- ▭ Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°5
- ▭ Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°4
- ▭ Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°3
- ▭ Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°2
- ▭ Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°1

Nota: Los rangos que se muestran en la Figura N°7 corresponden a los dos escenarios de diseño que se analizan: escenario conservador y escenario probable.

**Figura N°9: Comparación de Opciones de Rehabilitación
(TRAMO B)**



- ◆ Rango de carga probable
- Rango de carga alto
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°5
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°4
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°3
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°2
- Rangos de capacidad para opción de rehabilitación N°1

Nota: Los rangos que se muestran en la Figura N°7 corresponden a los dos escenarios de diseño que se analizan: escenario conservador y escenario probable.

7. Conclusiones y Recomendaciones

- El proyecto analizado se divide en 5 secciones según la evaluación visual de la condición superficial de la capa asfáltica, donde los principales parámetros de falla son el agrietamiento severo por fatiga en la capa asfáltica, el porcentaje de área bacheada, la deformación plástica y la falta de drenajes laterales.
- La carretera Jiménez - Siquirres, cuenta con un porcentaje alto de vehículos pesados, el 18.58% del Tránsito Promedio Diario son camiones de 5 ejes. La estimación de ejes equivalentes de diseño se hace para dos casos, el primero que constituye el rango probable de carga, y el segundo para un rango de carga alto, en el que se considera el sobrepeso de los camiones.
- En la figura N°1 se muestra el perfil típico del pavimento, constituido por capas granulares y una sobrecapa asfáltica de 8 cm. El proyecto se dividió en 3 tramos de diseño con base en los resultados del ensayo de Viga Benkelman, el tramo A presenta un valor de deflexión de diseño de 79.9 mm^{-2} , el tramo A' de 100.55 mm^{-2} y el tramo B de 66.90 mm^{-2} , en todos los casos se considera un nivel de confianza del 85%.
- Se plantean 5 opciones de rehabilitación:
 - opción N°1: 23 cm base estabilizada, 8 cm capa asfáltica
 - opción N°2: 25 cm base estabilizada, 8 cm capa asfáltica
 - opción N°3: 25 cm base estabilizada, 9 cm capa asfáltica
 - opción N°4: 25 cm base estabilizada, 13 cm capa asfáltica
 - opción N°5: 25 cm base estabilizada, 15 cm capa asfáltica

- Finalmente, se presenta un gráfico para cada tramo de diseño en el que muestra la vida útil de cada intervención con lo cual se puede incorporar la rentabilidad de la inversión como criterio para seleccionar la opción de rehabilitación.

ANEXOS

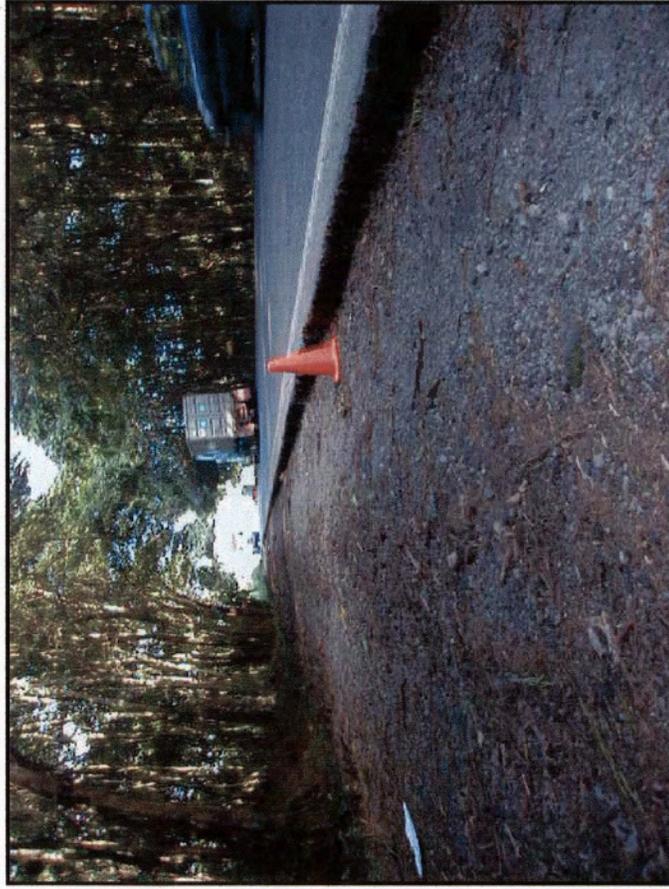
ANEXO 1

UBICACIÓN Y FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO

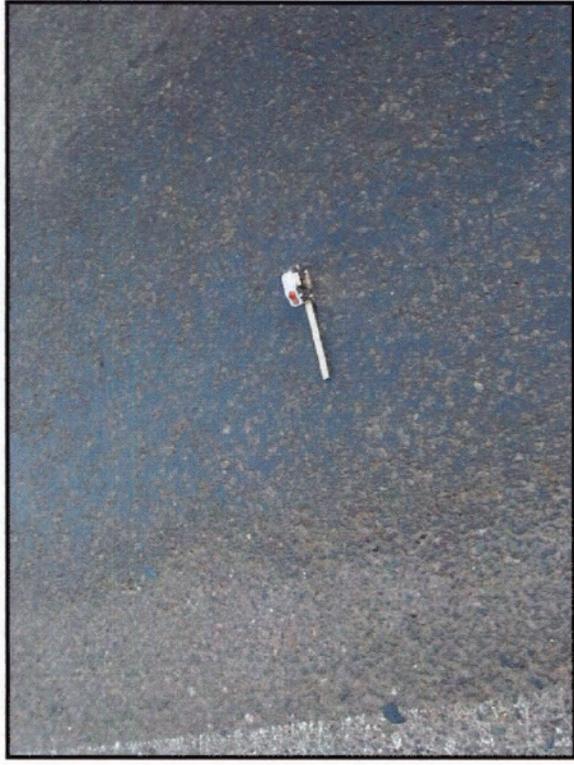
Sección 1: Jiménez - Finca San Ignacio



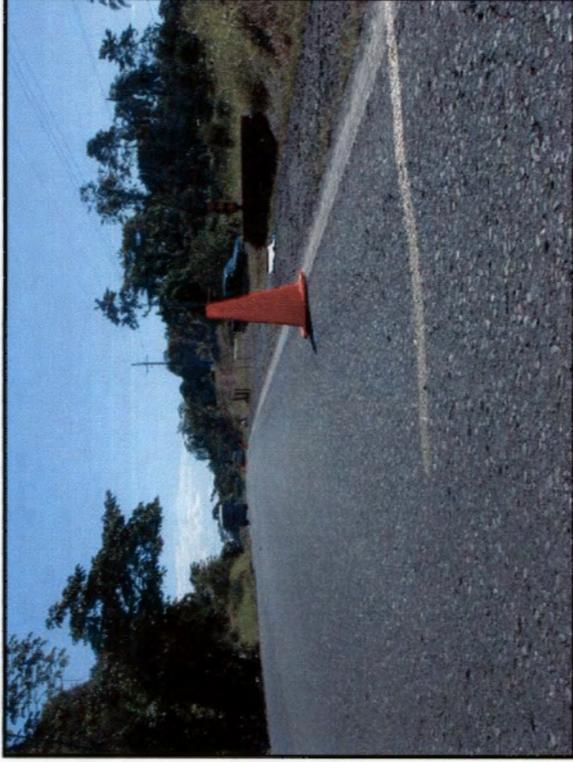
**Sección 1: Jiménez - Finca
San Ignacio**



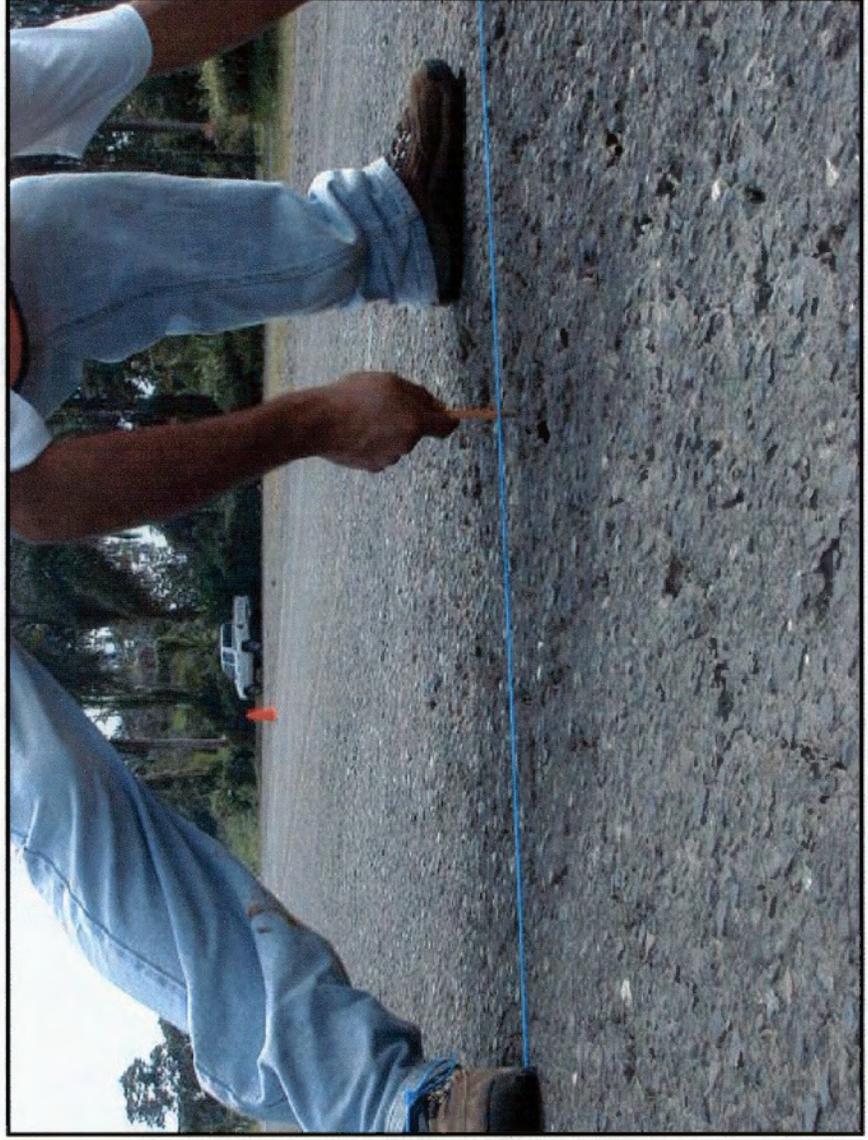
**Sección 2:
Finca S. Ignacio - Guácimo**



**Sección 3:
Guácimo - Parismina**



Sección 4: Parismina - Pocora



**Sección 5:
Pocora - Siquirres**



ANEXO 2

RESULTADOS DEL ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA CON VIGA BENKELMAN**

Ruta 32: Jiménez - Siquirres

Peso del eje: 8200 kg
 Precisión del micrómetros: 0.01mm
 Mediciones cada 100 metros
 Presión de las llantas: 82 lbs

Tramo: Jiménez - Siquirres
 Sentido: San José - Limón
 Ruta N°: 2
 Carril: Derecho
 Fecha: 04-Dic-01

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
0+ 050	1	1	76	41	34
0+ 200	2		78	41	34
0+ 300	3		62	41	34
0+ 400	4		82	41	34
0+ 500	5		64	41	34
0+ 600	6		72	41	34
0+ 700	7		74	41	34
0+ 800	8	2	72	41	34
0+ 900	9	3	44	41	34
1+ 000	10		66	41	34
1+ 100	11		70	41	34
1+ 200	12		78	41	34
1+ 300	13		64	41	34
1+ 400	14		46	41	34
1+ 500	15		66	41	34
1+ 600	16		70	41	34
1+ 700	17		100	41	34
1+ 800	18		72	41	34
1+ 900	19		90	41	34
2+ 000	20		86	41	34
2+ 100	21		122	41	34
2+ 200	22		90	41	34
2+ 300	23		72	41	34
2+ 400	24		60	41	34
2+ 500	25	4	56	41	34
2+ 600	26		54	41	34
2+ 700	27	5	54	41	34
2+ 800	28		60	41	34
2+ 900	29		60	43	34
3+ 000	30		74	43	34
3+ 100	31		60	43	34
3+ 200	32		58	43	34
3+ 300	33		78	43	34
3+ 400	34		68	43	34
3+ 500	35		66	43	34

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
3+ 600	36	6	58	43	34
3+ 700	37		62	43	34
3+ 800	38		54	43	34
3+ 900	39		52	43	34
4+ 000	40		70	43	34
4+ 100	41		82	43	34
4+ 200	42		18	43	34
4+ 300	43		22	43	34
4+ 400	44		66	43	34
4+ 500	45		10	43	34
4+ 600	46		46	43	35
4+ 700	47		64	43	35
4+ 800	48		68	43	35
4+ 900	49		62	43	35
5+ 000	50		70	43	35
5+ 100	51		60	43	35
5+ 200	52		46	43	35
5+ 300	53		50	43	35
5+ 400	54		66	43	35
5+ 500	55	7	28	42	32
5+ 600	56		58	42	32
5+ 700	57		66	42	32
5+ 800	58		54	42	32
5+ 900	59		58	42	32
6+ 000	60		40	42	32
6+ 100	61		60	42	32
6+ 200	62	8	66	42	32
6+ 300	63	9	84	42	32
6+ 400	64	10	-	42	32
6+ 500	65		52	42	32
6+ 600	66		78	42	32
6+ 700	67		76	42	32
6+ 800	68		92	42	32
6+ 900	69		84	42	32
7+ 000	70		48	42	32
7+ 100	71		78	42	32
7+ 200	72	11	72	42	32
7+ 300	73		70	42	32
7+ 400	74		74	42	32
7+ 500	75		60	42	32
7+ 600	76		74	42	32
7+ 700	77		64	42	32
7+ 800	78		82	42	32
7+ 900	79		80	42	32
8+ 000	80		72	42	32
8+ 100	81		60	42	32
8+ 200	82		68	42	32
8+ 300	83		78	42	32
8+ 400	84		56	40	30
8+ 500	85		62	40	30

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
8+ 600	86		56	40	30
8+ 700	87		54	40	30
8+ 800	88		82	40	30
8+ 900	89		80	40	30
9+ 000	90		72	40	30
9+ 100	91		76	40	30
9+ 200	92		56	40	30
9+ 300	93		82	40	30
9+ 400	94		44	40	30
9+ 500	95		52	40	30
9+ 600	96		60	40	30
9+ 700	97		76	40	30
9+ 800	98		66	40	30
9+ 900	99		66	40	30
10+ 000	100		76	40	30
10+ 100	101		70	40	30
10+ 200	102		62	40	30
10+ 300	103		102	40	30
10+ 400	104		76	40	30
10+ 500	105		60	40	30
10+ 600	106		68	40	30
10+ 700	107		48	40	30
10+ 800	108	12	-	40	30
10+ 900	109		58	40	30
11+ 000	110		40	40	30
11+ 100	111		50	40	30
11+ 200	112		58	40	30
11+ 300	113		44	40	30
11+ 400	114		60	40	30
11+ 500	115		78	40	30
11+ 600	116		74	40	30
11+ 700	117		50	40	30
11+ 800	118		56	40	30
11+ 900	119		58	34	29
12+ 000	120		50	34	29
12+ 100	121		50	34	29
12+ 200	122		50	34	29
12+ 300	123		42	34	29
12+ 400	124		36	34	29
12+ 500	125		30	34	29
12+ 600	126		56	34	29
12+ 700	127		50	34	29
12+ 800	128		48	34	29
12+ 900	129		74	34	29
13+ 000	130		56	34	29
13+ 100	131		54	34	29
13+ 200	132		74	34	29
13+ 300	133		52	34	29
13+ 400	134		48	34	29
13+ 500	135		44	34	29

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
13+ 600	136		48	34	29
13+ 700	137	13	58	34	29
13+ 800	138		52	34	29
13+ 900	139		50	34	29
14+ 000	140		44	34	28

Referencias:

- 1: Las mediciones realizadas durante el día 04 de diciembre fueron con tiempo despejado y soleado.
- 2: Restaurante el Brujo.
- 3: En esta estación existe información sobre el perfil del pavimento (sondeo CA-12).
- 4: Aserradero Don Ignacio.
- 5: Aserradero Los Pinares.
- 6: Villa Delia.
- 7: Soda los Laureles.
- 8: Lubricentro Guácimo.
- 9: En esta estación existe información sobre el perfil del pavimento (sondeo CA-13).
- 10: Puente sobre el Río Guácimo.
- 11: Empresa D. Ontime S.A.
- 12: Puente sobre el Río Parismina
- 13: Parada de buses Transportes Wen-da.

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA CON VIGA BENKELMAN**

Ruta 32: Jiménez - Siquirres

Peso del eje: 8200 kg
 Precisión del micrómetros: 0.01mm
 Mediciones cada 100 metros
 Presión de las llantas: 82 lbs

Tramo: Jiménez - Siquirres
 Sentido: San José - Limón
 Ruta N°: 2
 Carril: Derecho
 Fecha: 05-Dic-01

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
14+ 100	141	1	58	30	27
14+ 200	142		34	30	27
14+ 300	143		52	30	27
14+ 400	144		68	30	27
14+ 500	145		50	30	27
14+ 600	146	2	58	30	27
14+ 700	147		56	30	27
14+ 800	148		50	30	27
14+ 900	149		58	30	27
15+ 000	150		54	30	27
15+ 100	151		66	30	27
15+ 200	152	3	54	30	27
15+ 300	153		48	30	27
15+ 400	154		60	30	27
15+ 500	155	4	54	30	27
15+ 600	156	5	-	30	27
15+ 700	157		56	30	27
15+ 800	158		64	30	27
15+ 900	159		24	30	27
16+ 000	160		50	30	27
16+ 100	161		36	30	27
16+ 200	162		48	30	27
16+ 300	163		48	30	27
16+ 400	164		78	30	27
16+ 500	165		52	30	27
16+ 600	166		58	30	27
16+ 700	167		46	30	27
16+ 800	168	6	-	30	27
16+ 900	169	6	-	30	27
17+ 000	170		72	30	27
17+ 100	171		58	30	27
17+ 200	172		62	30	27
17+ 300	173		56	30	27
17+ 400	174		68	30	27
17+ 500	175		74	30	27

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
17+ 600	176		64	30	27
17+ 700	177		82	30	27
17+ 800	178		90	30	27
17+ 900	179		50	30	27
18+ 000	180		74	30	27
18+ 100	181		76	30	27
18+ 200	182		60	30	27
18+ 300	183		44	30	27
18+ 400	184		50	30	27
18+ 500	185		52	30	27
18+ 600	186		56	30	27
18+ 700	187		48	30	27
18+ 800	188		44	30	27
18+ 900	189		40	30	27
19+ 000	190		38	30	27
19+ 100	191		54	30	27
19+ 200	192		58	30	27
19+ 300	193		98	30	27
19+ 400	194		68	30	27
19+ 500	195		70	30	27
19+ 600	196		56	30	27
19+ 700	197		88	30	27
19+ 800	198		38	30	27
19+ 900	199	7	54	30	27
20+ 000	200	8	70	30	27
20+ 100	201		72	30	27
20+ 200	202		74	30	27
20+ 300	203		108	30	27
20+ 400	204	9	60	30	27
20+ 500	205		50	30	27
20+ 600	206		48	30	27
20+ 700	207		60	30	27
20+ 800	208		46	30	27
20+ 900	209		90	30	27
21+ 000	210		44	30	27
21+ 100	211		76	30	27
21+ 200	212		96	30	27
21+ 300	213		76	30	27
21+ 400	214		50	30	27
21+ 500	215		70	30	27
21+ 600	216		88	30	27
21+ 700	217		64	30	27
21+ 800	218		52	30	27
21+ 900	219		44	30	27
22+ 000	220		84	30	27
22+ 100	221	10	82	30	27

Referencias:

- 1: Las mediciones realizadas durante el día 05 de diciembre fueron con tiempo lluvioso, húmedo.
- 2: EARTH.
- 3: Hotel y Restaurante Río Palmas.
- 4: En esta estación existe información sobre el perfil del pavimento (sondeo CA-14).
- 5: Puente sobre el río Dos Novillos
- 6: Puente sobre el río Destierro
- 7: Rótulo Germania 500 metros.
- 8: En esta estación existe información sobre el perfil del pavimento (sondeo CA-15).
- 9: Rancho el Trapiche.
- 10: Restaurante la Pejibayera.

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
 ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA CON VIGA BENKELMAN**

Ruta 32: Jiménez - Siquirres

Peso del eje: 8200 kg
 Precisión del micrómetros: 0.01mm
 Mediciones cada 100 metros
 Presión de las llantas: 82 lbs

Tramo: Jiménez - Siquirres
 Sentido: San José - Limón
 Ruta N°: 2
 Carril: Derecho
 Fecha: 06-Dic-01

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
22+ 200	222	1	70	31	27
22+ 300	223		58	31	27
22+ 400	224		54	31	27
22+ 500	225		70	31	27
22+ 600	226		50	31	27
22+ 700	227		54	31	27
22+ 800	228		44	31	27
22+ 900	229		50	31	27
23+ 000	230		60	31	27
23+ 100	231		48	31	27
23+ 200	232		52	31	27
23+ 300	233		42	31	27
23+ 400	234	2	58	31	27
23+ 500	235		54	31	27
23+ 600	236		62	31	27
23+ 700	237		40	31	27
23+ 800	238		54	31	27
23+ 900	239		62	31	27
24+ 000	240		68	31	27
24+ 100	241		68	31	27
24+ 200	242		48	31	27
24+ 300	243		38	31	27
24+ 400	244		52	31	27
24+ 500	245		54	31	27
24+ 600	246		50	31	27
24+ 700	247		52	31	27
24+ 800	248		42	31	27
24+ 900	249		72	31	27
25+ 000	250		44	31	27
25+ 100	251		62	31	27
25+ 200	252	3	68	31	27
25+ 300	253		56	31	27
25+ 400	254		40	31	27
25+ 500	255		70	31	27
25+ 600	256		66	31	27

Estación	Punto N°	Referencia	Deflexión mmE-02	Temperatura Pavimento (°C)	Temperatura Aire (°C)
25+ 700	257		58	31	27
25+ 800	258		66	31	27
25+ 900	259		60	31	27
26+ 000	260		64	31	27
26+ 100	261		42	31	27
26+ 200	262		86	31	27
26+ 300	263		70	31	27
26+ 400	264		50	31	27
26+ 500	265		60	31	27
26+ 600	266		44	31	27
26+ 700	267	4	-	31	27
26+ 800	268	4	-	31	27
26+ 900	269	4	-	31	27
27+ 000	270	4	-	31	27
27+ 100	271		42	31	27
27+ 200	272		66	31	27
27+ 300	273		36	31	27
27+ 400	274		52	31	27
27+ 500	275		44	31	27
27+ 600	276		34	31	27
27+ 700	277		60	40	32
27+ 800	278		34	40	32
27+ 900	279		28	40	32
28+ 000	280		52	40	32
28+ 100	281		42	40	32
28+ 200	282		54	40	32
28+ 300	283		64	40	32
28+ 400	284		54	40	32
28+ 500	285		60	40	32
28+ 600	286		54	40	32
28+ 700	287		72	40	32
28+ 800	288		40	40	32
28+ 900	289		60	40	32
29+ 000	290	5	58	40	32
29+ 100	291		58	40	32
29+ 200	292		50	40	32
29+ 300	293		90	39	33

Referencias:

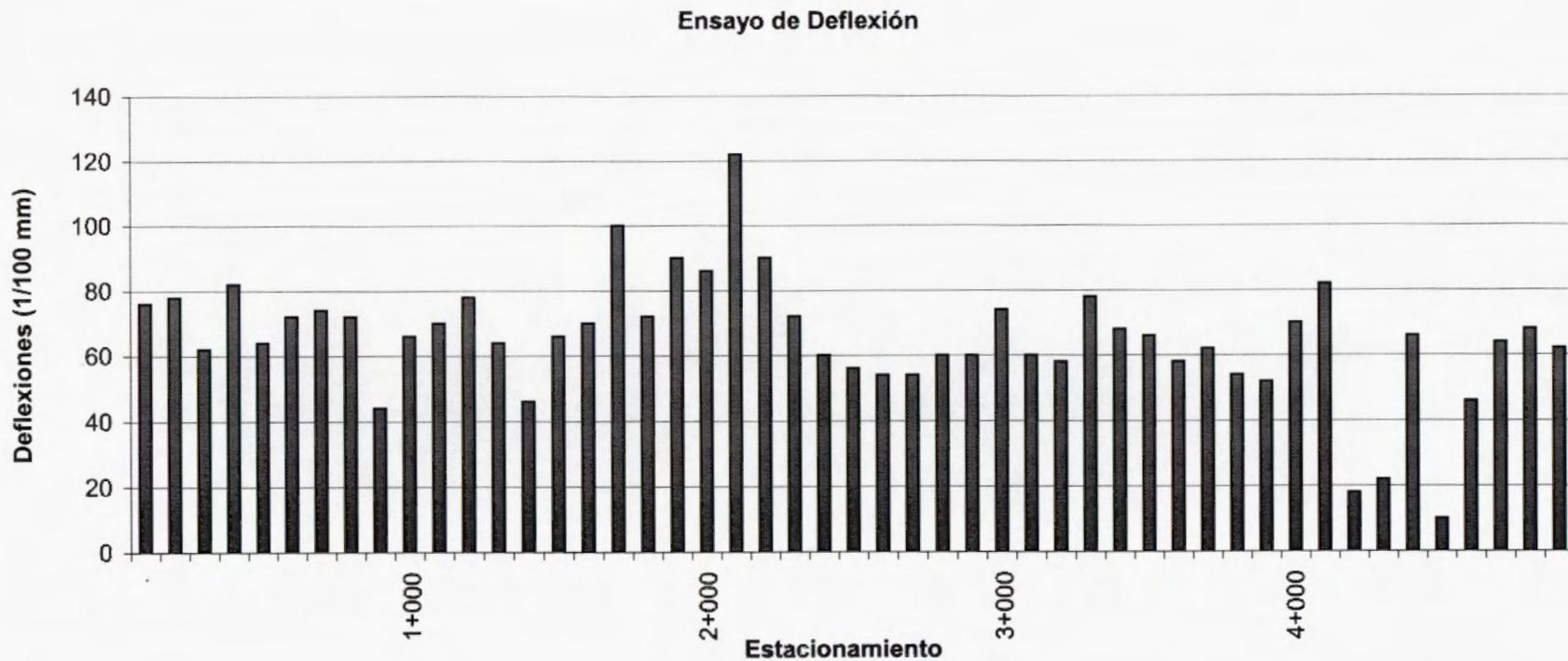
- 1: Las mediciones realizadas durante el día 06 de diciembre fueron con tiempo lluvioso, húmedo.
- 2: En la estación 23+470 inicia el puente sobre el río Herediana.
- 3: Restaurante Los Llaneros.
- 4: Puente sobre el río Reventazón.
- 5: Bar Caribbean Dish.

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN

Ruta: 32
Tramo: Jiménez - Siquirres

Fecha: 04, 05 y 06 de diciembre del 2001
MEDICIONES CADA 100 METROS

Nota: El estacionamiento 0+000 corresponde a la salida del puente sobre el río Jiménez, en el sentido San José - Siquirres.



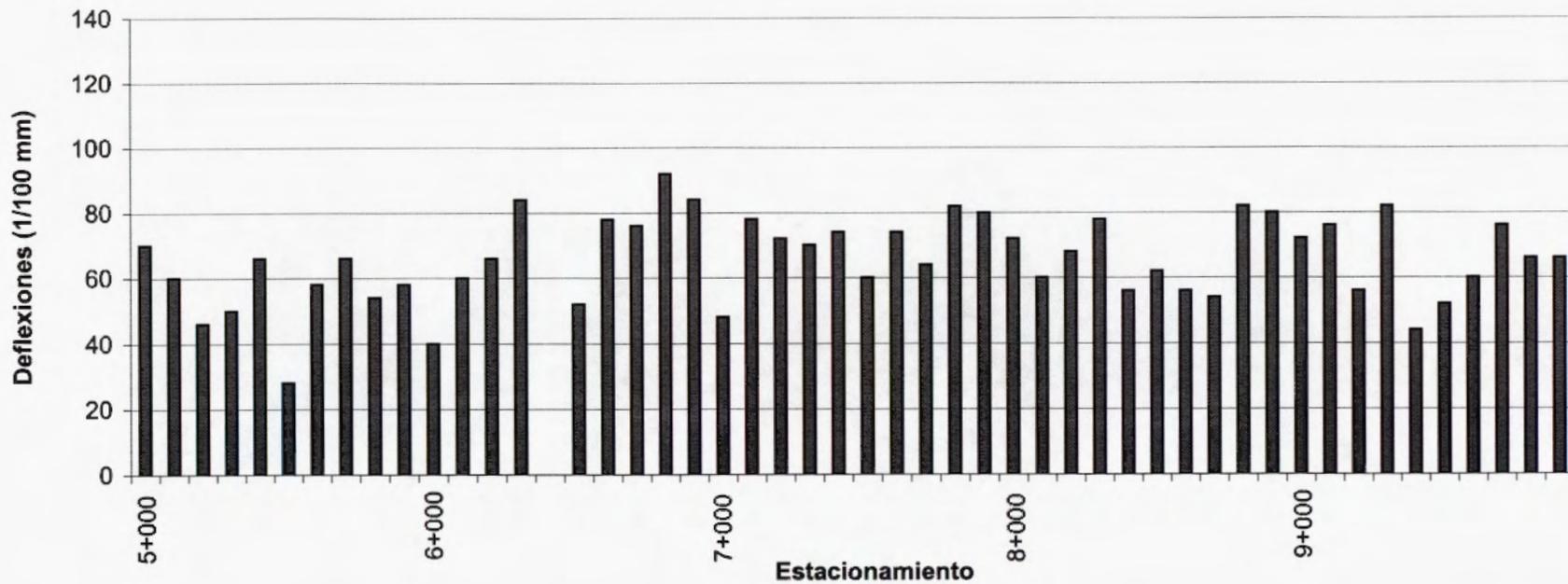
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN

Ruta: 32
Tramo: Jiménez - Siquirres

Fecha: 04, 05 y 06 de diciembre del 2001
MEDICIONES CADA 100 METROS

Nota: El estacionamiento 0+000 corresponde a la salida del puente sobre el río Jiménez, en el sentido San José - Siquirres.

Ensayo de Deflexión



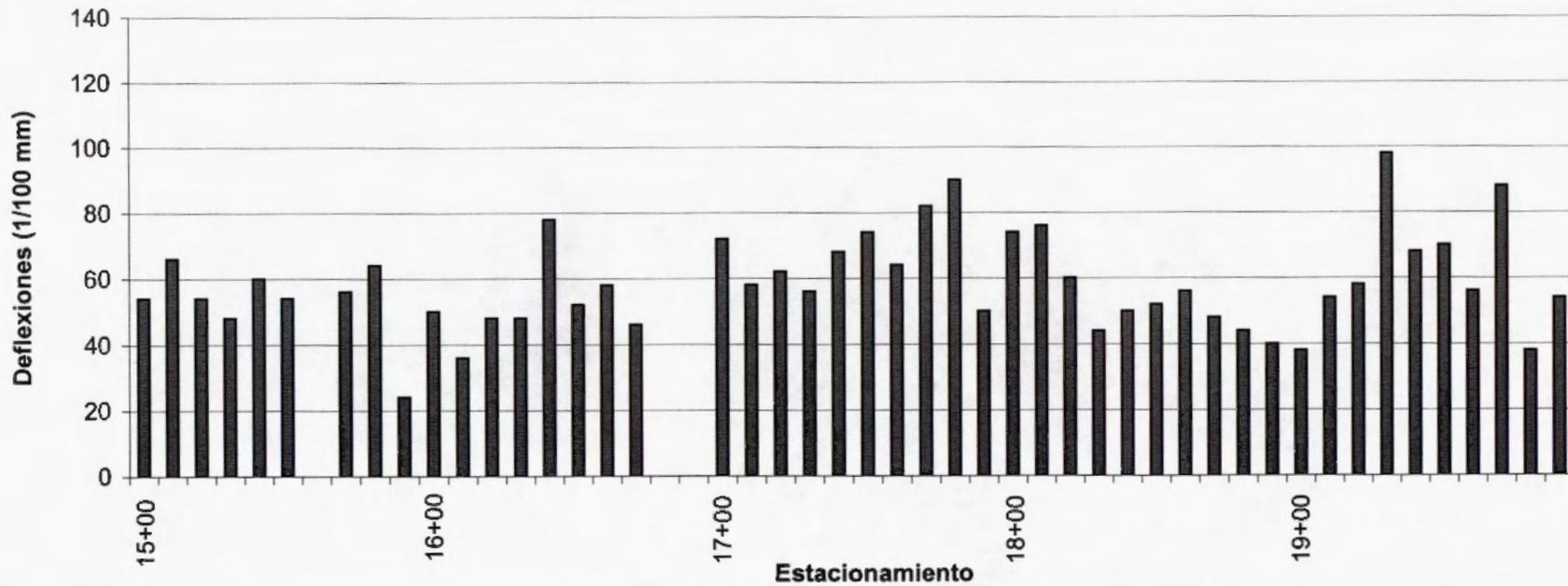
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN

Ruta: 32
Tramo: Jiménez - Siquirres

Fecha: 04, 05 y 06 de diciembre del 2001
MEDICIONES CADA 100 METROS

Nota: El estacionamiento 0+000 corresponde a la salida del puente sobre el río Jiménez, en el sentido San José - Siquirres.

Ensayo de Deflexión



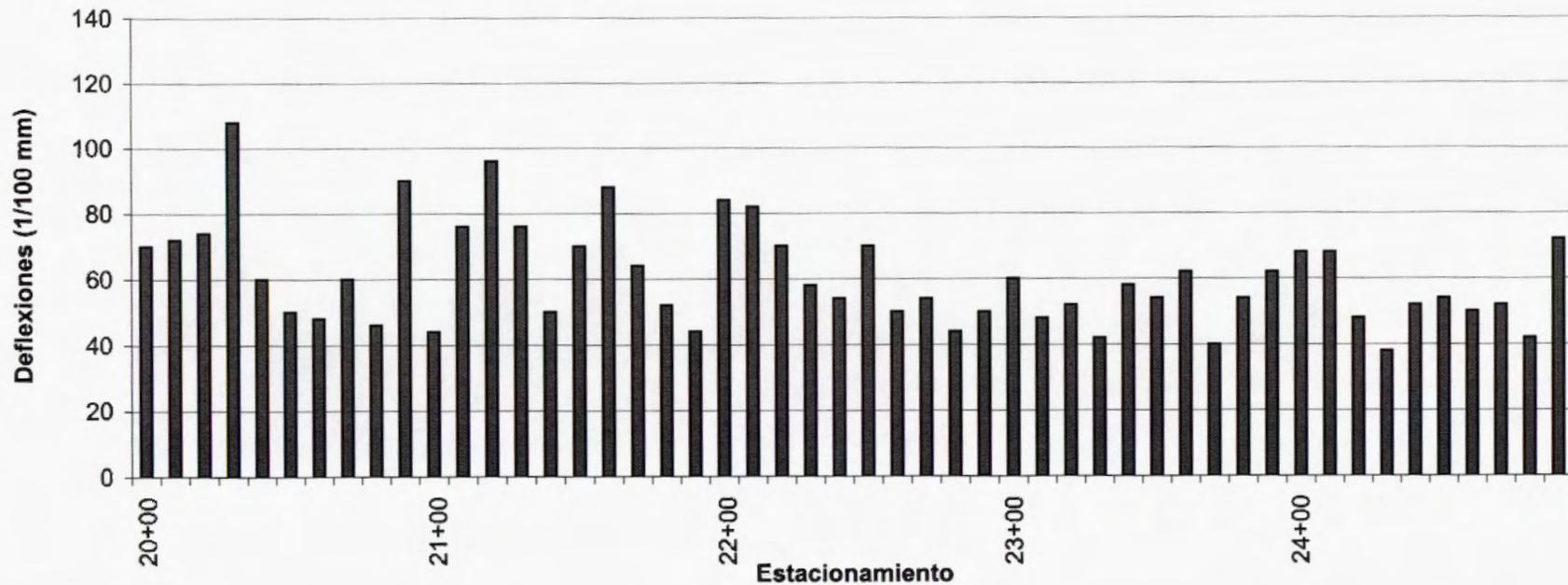
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN

Ruta: 32
Tramo: Jiménez - Siquirres

Fecha: 04, 05 y 06 de diciembre del 2001
MEDICIONES CADA 100 METROS

Nota: El estacionamiento 0+000 corresponde a la salida del puente sobre el río Jiménez, en el sentido San José - Siquirres.

Ensayo de Deflexión



LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRÍA CON VIGA BENKELMAN

Ruta: 32
Tramo: Jiménez - Siquirres

Fecha: 04, 05 y 06 de diciembre del 2001
MEDICIONES CADA 100 METROS

Nota: El estacionamiento 0+000 corresponde a la salida del puente sobre el río Jiménez, en el sentido San José - Siquirres.

Ensayo de Deflexión

