

**DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL
PARA EL TRAMO:
QUEBRADAS-SAN ISIDRO DE HEREDIA**

MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO

23/04/03



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

LANAMME

Arech

23 de abril de 2003
LM-IC-I-345-03

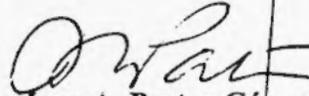
Señores
Municipalidad de San Isidro
Presente

Atención: Sra. Elvia Villalobos Argüello
Alcaldesa

Estimada señora:

En forma adjunta me permito presentarle los resultados de los ensayos con la caracterización de los materiales existentes y el diseño de refuerzo estructural para el tramo de carretera de 1,57 km de longitud ubicado entre el Cementerio de San Isidro y la Escuela de Barrio Lourdes (Las Quebradas), realizados por personal de este Laboratorio.

Atentamente


Dr. Juan A. Pastor Gómez
Director



pfs

DISEÑO DEL REFUERZO ESTRUCTURAL PARA EL TRAMO: QUEBRADAS - SAN ISIDRO DE HEREDIA

1. OBJETIVO

Establecer una acción de refuerzo estructural para el tramo de carretera Quebradas - San Isidro.

2. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE

2.1 Espesores

El tramo en estudio: Quebradas - San Isidro, tiene una longitud aproximada de 1.57 km. Se realizaron 3 sondeos (perforaciones en el pavimento) para determinar los espesores del material existente, la estructura de pavimento típica del tramo y la caracterización de los materiales. En la Tabla N°1 se presentan los resultados de espesores de las capas y en la Figura N°1 se presenta la sección típica de diseño.

Tabla N°1: Espesores de capa

Capa	Espesor (cm)		
	Sondeo N°1	Sondeo N°2	Sondeo N°3
Capa asfáltica	4.0	6.0	4.0
Base granular	12.0	13.0	10.0
Subbase granular	31.0	36.0	6.0
Material de relleno	48.0	> 60.0	35.0
Subrasante	-	-	-

2.2 Segmentos homogéneos

A partir de los resultados del deflectómetro de impacto de febrero del 2003, el tramo en estudio se analizó para segmentarse en tramos con una respuesta estructural diferenciada.

El parámetro de separación fue la deflexión medida debajo del plato de carga. El nivel de confianza estadística para la separación es del 95%. En la Figura N°2 se presenta el resultado de dicho análisis estadístico.

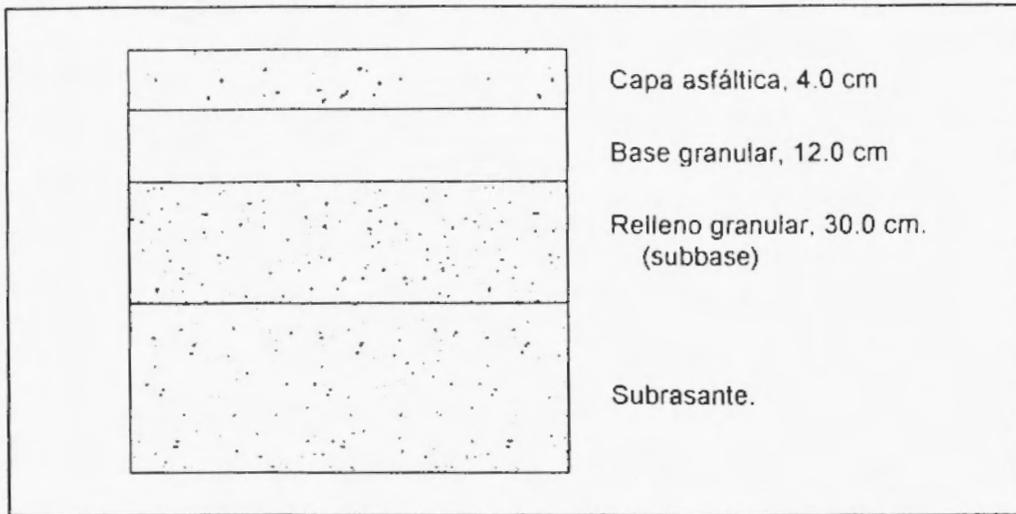


Figura N°1: Sección típica de diseño

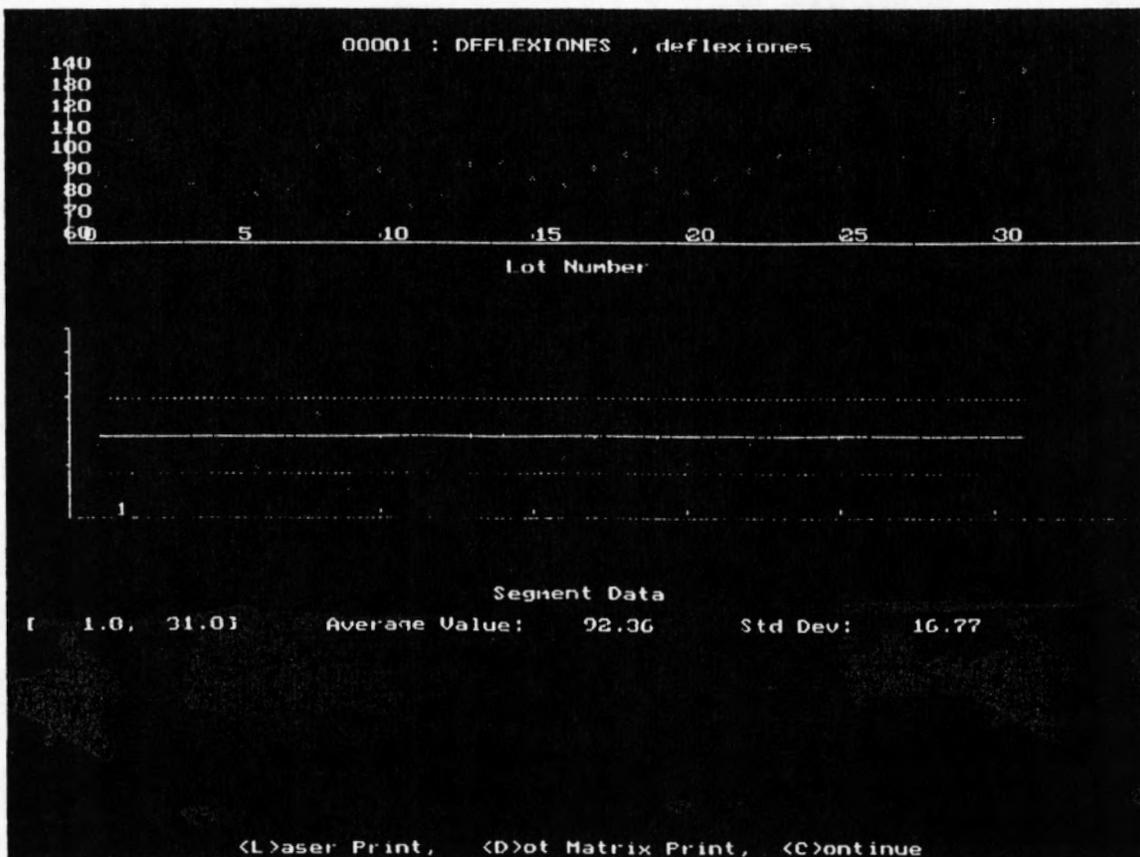


Figura N°2: Segmentos homogéneos

En la Tabla N°2 se presentan los valores de deflexión para el segmento homogéneo.

Tabla N°2: Segmento homogéneo con base en la deflexión bajo el plato de carga del deflectómetro de impacto

Segmento Homogéneo	Estacionamiento	Deflexión promedio (1/100 cm)	Desviación estándar (1/100 cm)	Deflexión de diseño (1/100 cm) *
1	0+000 - 1+570	92.4	16.8	109.1

* Las deflexiones de diseño corresponden a una deformada definida por la deflexión promedio más una desviación estándar (percentil 85).

En el Anexo N°1 se muestran los resultados del ensayo con el deflectómetro de impacto.

2.3 Módulos de rigidez

Para el segmento homogéneo se determinó el módulo de rigidez para las capas que forman el paquete estructural (se utilizaron las deflexiones del percentil 85). Los resultados se muestran en la Tabla N°3.

Tabla N°3: Módulos de rigidez retrocalculados

Segmento	Módulos de rigidez (psi)			
	capa asfáltica	base granular	material de relleno (subbase)	subrasante
1	70 000	20 000	18 000	5 000

2.4 Caracterización de materiales existentes

En el Anexo N°2 se muestran los resultados de los ensayos de caracterización de los materiales encontrados en los tres sondeos.

3. DISEÑO DE REFUERZO ESTRUCTURAL

3.1 Proyecciones de tránsito

La Tabla N°4 presenta la distribución vehicular en estudio, lo mismo que el factor de ejes equivalentes por vehículo.

Tabla N° 4: Distribución vehicular

Vehículo	Distribución vehicular (%)	Factor de carga	Aporte
liviano	93.9	0.0025	0.0023
pesado	6.1	0.8000	0.0488
Ejes equivalentes/vehículo			0.051

Con base en los conteos vehiculares realizados, se calculó el Tránsito Promedio Horario (TPH) y utilizando un factor de hora pico de 0.07 se determinó que el Tránsito Promedio Diario (TPD) para el proyecto en estudio es de 1415 vehículos en total.

En la Tabla N°5 se muestran los ejes equivalentes para diseño. En este caso se consideró un incremento de la flota vehicular de un 5%.

Tabla N°5: Ejes equivalente de diseño

Año	TPD	Ejes equivalentes por vehículo	Ejes equivalentes por año	Ejes equivalentes acumulados
2003	1415	0.051	26340	26340
2004	1486	0.051	27657	53997
2005	1560	0.051	29040	83038
2006	1638	0.051	30492	113530
2007	1720	0.051	32017	145546
2008	1806	0.051	33618	179164
2009	1896	0.051	35298	214462
2010	1991	0.051	37063	251526
2011	2091	0.051	38917	290442
2012	2195	0.051	40862	331305
2013	2305	0.051	42905	374210

3.1 Capacidad estructural existente

En la Tabla N°6 se presentan los coeficientes estructurales AASHTO para el paquete estructural existente:

Tabla N°6: Capacidad estructural existente

Capa	coeficiente estructural
capa asfáltica	0.15
base granular	0.09
material de relleno (subbase)	0.12
SN existente	2.08

3.2 Parámetros de diseño

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

- Nivel de confianza: 85%
- Desviación estándar: 0.35
- Índice terminal de habilidad de servicio: 2.0
- Módulo resiliente de la subrasante: 5000 psi

Con base en los parámetros anteriores y considerando un período de diseño de 10 años (375 000 ejes equivalentes), se tiene que el número estructural requerido es de 3.07.

3.3 Opción de rehabilitación

La opción consiste en remover completamente la capa asfáltica existente y conformar una nueva base granular de 16.0 cm, para lo cual se pueden aprovechar los 12.0 cm existentes de base. Posteriormente se coloca una capa asfáltica de 9.0 cm.

Tabla N°7: Espesor de capas de acuerdo con la metodología AASHTO

Capa	Espesor	Comentario
capa asfáltica	9.0 cm	capa nueva
base granular	16.0 cm	capa que incluye material nuevo y base granular existente
material de relleno o subbase	30.0 cm	capa existente

Handwritten diagram showing a vertical line with a horizontal tick at the top and bottom. To the right of the line, the number "45" is written with an arrow pointing to the line, indicating a total thickness of 45 cm for the three layers listed in the table above.

3.4 Verificación de capacidad por agrietamiento por fatiga y deformación plástica

En la Tabla N°8 se presentan los valores de capacidad admisible considerando el agrietamiento por fatiga y la deformación plástica para el periodo de diseño, 10 años.

Tabla N°8 : Verificación de diseño por fatiga y deformación plástica

Tipo de análisis	número de repeticiones de carga (*) permisibles	número de repeticiones de cargas esperadas (en el periodo de diseño)
agrietamiento por fatiga	400 000	375 000
deformación plástica	4 000 000	375 000

* Las repeticiones de carga se refieren a ejes equivalentes de 8200 kg.

4. RECOMENDACIONES

El material de base granular debe cumplir con las especificaciones del CR-2000, adicionalmente debe compactarse a una densidad mayor al 98% del proctor modificado.

La capa asfáltica debe compactarse a una densidad mayor o igual al 97% de la densidad Marshall. Además, el control de vacíos debe chequearse utilizando la gravedad específica máxima teórica real, la de la mezcla colocada. El flujo Marshall debe estar entre 20 - 40 1/10 mm, de acuerdo con la norma AASHTO T-245.

Durante el proceso constructivo debe hacerse un riguroso control de calidad y al final debe tenerse un registro del control de calidad de la obra.

El drenaje superficial y lateral debe funcionar de manera eficiente durante todo el año.

La carretera debe tener un monitoreo permanente para determinar las actuaciones de mantenimiento preventivo que extiendan la vida útil del pavimento, con intervenciones oportunas de conservación.

ANEXO N°1

RESULTADOS DE DEFLEXIONES

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

PROYECTO: San Isidro de Heredia

RUTA: tipo municipal.

TRAMO: Escuela de Quebradas - Cementerio de San Isidro.

MEDICIONES CADA 50 METROS

SENTIDO: Quebradas - San Isidro

CARRIL: Único

FECHA : 06 de febrero 2003

Equipo utilizado: DYNATEST 8081 FWD TEST SYSTEMS

Diámetro del plato de carga: 300 mm

Magnitud de la carga en el plato de 4.1 toneladas.

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

No	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
X:	0	200	300	450	750	1200	1800
Y:	0	0	0	0	0	0	0

Tabla N°.2 Deflexiones medidas

Estacionamiento	Ref. Proyecto	Temp. Pav. (°C)	Temp. Aire (°C)	DEFLEXION						
				mm*10 ⁻²						
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0+ 000	1	41.3	26.5	88.8	65.8	44.7	27.7	13.4	6.7	4.0
0+ 050		44.2	26.4	104.5	74.1	51.9	32.0	15.2	8.4	4.6
0+ 100		44.7	26.7	67.6	50.9	38.0	23.1	8.5	4.6	3.5
0+ 150		42.9	26.2	83.7	59.1	40.7	24.1	10.8	6.6	3.8
0+ 200		41.9	26.8	88.5	60.8	38.4	22.9	10.3	5.6	3.6
0+ 250	2	40.6	27.3	78.6	54.4	36.4	20.5	10.5	6.3	3.4
0+ 300	3	44.0	28.1	80.9	55.6	38.6	23.1	11.1	6.1	4.2
0+ 350		36.5	27.9	102.1	67.6	44.5	28.5	15.1	7.2	4.0
0+ 400		44.2	27.7	69.7	50.4	33.4	19.0	9.2	5.7	3.7
0+ 450		42.6	27.8	90.5	59.6	37.5	21.1	9.5	6.3	3.1
0+ 500		43.9	26.9	72.8	50.0	31.1	17.8	9.5	5.7	3.2
0+ 550		46.8	26.3	78.5	53.9	38.7	23.7	11.4	6.6	4.9
0+ 600		46.4	26.9	92.8	65.6	44.9	25.5	11.4	7.7	5.6
0+ 650		50.8	27.7	93.7	64.8	44.6	28.4	14.8	9.2	6.4
0+ 700		43.8	26.8	86.5	65.0	47.7	31.3	16.0	8.3	4.6
0+ 750		50.0	26.1	82.4	59.3	42.2	26.0	12.7	8.1	5.1
0+ 800		46.2	27.2	91.0	63.8	45.5	29.1	15.7	8.7	4.9
0+ 850		45.4	28.3	98.1	72.7	51.4	32.5	15.7	8.6	5.3
0+ 900		49.5	28.2	90.6	64.0	42.8	27.1	13.6	7.8	5.7
0+ 950		48.5	28.4	79.6	57.1	41.0	25.4	12.2	7.4	5.4
1+ 000	4	45.7	28.6	156.1	12.3	8.7	4.8	1.9	5.3	5.2
1+ 050	5	46.0	26.6	85.7	71.3	50.5	29.2	14.6	8.5	5.3
1+ 100		43.6	26.8	90.0	64.7	46.9	30.5	13.7	6.3	3.9
1+ 150		44.7	28.2	97.4	66.2	45.2	25.5	10.8	5.9	4.1
1+ 200		43.3	27.4	99.4	67.4	45.9	25.4	8.5	4.8	3.6
1+ 250		44.8	27.6	91.5	64.2	42.4	27.4	15.2	7.7	4.6
1+ 300		42.1	28.7	130.1	90.6	60.4	36.1	18.2	9.3	6.6
1+ 350	6	48.7	29.0	96.7	81.9	54.0	30.4	13.0	7.4	5.4
1+ 400		48.0	28.4	72.1	41.7	28.7	18.6	10.5	5.7	3.4
1+ 450	7	44.4	28.9	127.3	93.4	65.5	35.8	12.1	6.5	4.6

Continuación Tabla N°.2 Deflexiones medidas

Estacionamiento	Ref. Proyecto	Temp. Pav. (°C)	Temp. Aire (°C)	DEFLEXION						
				mm*10 ⁻²						
				D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1+ 500		25.8	28.2	114.2	78.3	51.6	30.6	14.3	6.6	4.3
1+ 550	8	30.7	27.7	137.8	107.6	79.8	50.8	23.7	10.6	6.9

Referencias:

- 1: Escuela de Quebradas.
- 2: El estacionamiento 0+260 medido con el FWD corresponde a la estación 0+270 marcada en el sitio.
- 3: Ubicación del sondeo N°1.
- 4: Capa asfáltica presenta un estado de deterioro severo: agrietamiento por fatiga y deformación plástica.
- 5: Ubicación del sondeo N°2.
- 6: 1+380, Quebrada.
- 7: Ubicación del sondeo N°3.
- 8: 1+570, Cementerio de San Isidro.

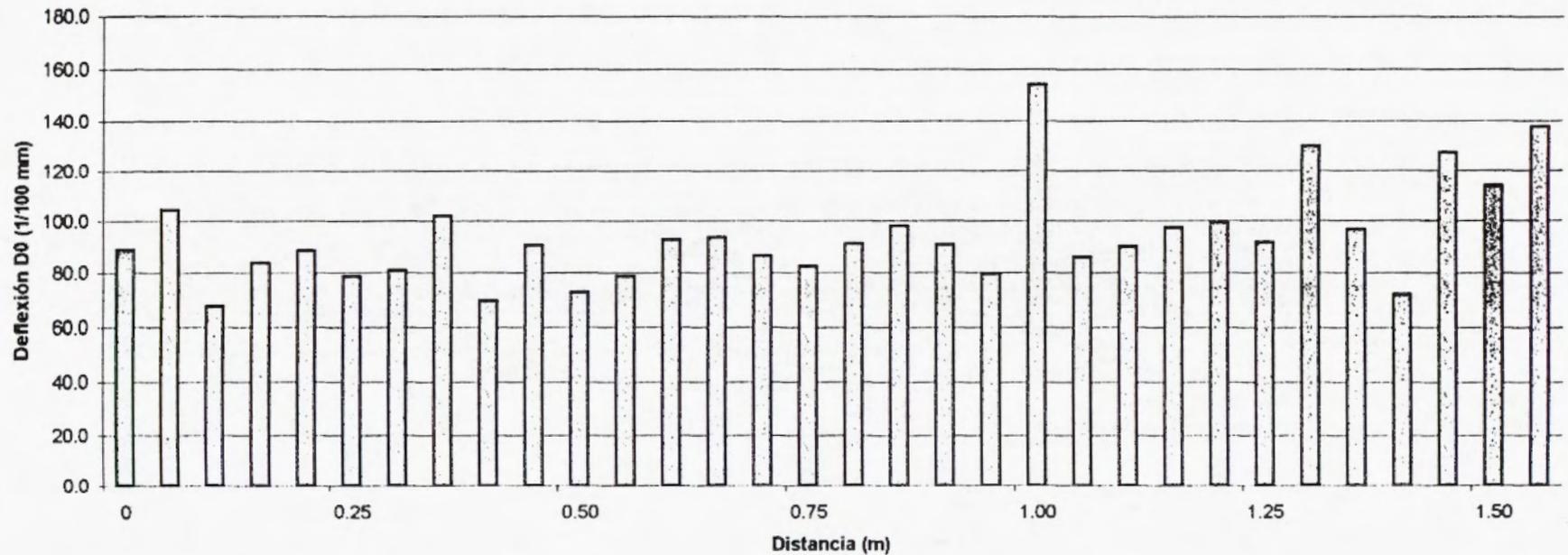
LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES
ENSAYO DE DEFLECTOMETRIA
Deflectómetro de impacto

PROYECTO: San Isidro de Heredia
RUTA: tipo municipal.
TRAMO: Escuela de Quebradas - Cementerio de San Isidro.

SENTIDO: Quebradas - San Isidro
CARRIL: Único
FECHA : 06 de febrero 2003

MEDICIONES CADA 50 METROS

Deflexión vrs Distancia



ANEXO N°2

RESULTADOS DE SONDEOS

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

PROYECTO: Quebradas - San Isidro de Heredia

SONDEO CA-1

UBICACIÓN: 0+300

N° muestra

(*) 233-03: capa asfáltica

(*) 227-03-A: base granular

(*) 227-03-B: subbase granular

FECHA DE MUESTREO: 11 de marzo del 2003

(*) 227-03-D: relleno

(*) 227-03-C: subrasante

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN																																												
4.0	Capa asfáltica	Ligeramente fisurada																																												
12.0	Base granular	<p>Material de base compacto, lastre de color café rojizo. Tamaño máximo 4.0 cm. W natural: 7.6% LIMITES DE ATTERBERG W óptima: 8.4% LL: NP Densidad máx (PM): 2020kg/m³ LP: NP % compactación en sitio = 99% IP: NP CBR lab. al 95% (0.1") = >100% CBR lab. al 95% (0.2") = >100%</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th colspan="8">Granulometría (% pasando)</th></tr> <tr><th colspan="8">Abertura (mm)</th></tr> <tr><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>97</td><td>90</td><td>67</td><td>52</td><td>37</td><td>21</td><td>10</td></tr> </table>	Granulometría (% pasando)								Abertura (mm)								38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075	100	97	90	67	52	37	21	10												
Granulometría (% pasando)																																														
Abertura (mm)																																														
38.100	25.000	19.000	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																																							
100	97	90	67	52	37	21	10																																							
1.0	Subbase granular	<p>Material granular medianamente compacto, color negruzco. Tamaño máximo 5.0 cm. W natural: 17.5% W óptima: 10.3% LIMITES DE ATTERBERG Densidad máx (PM): 1794kg/m³ LL: NP CBR lab. al 95% (0.1") = 72% LP: NP CBR lab. al 95% (0.2") = 93% IP: NP</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th colspan="8">Granulometría (% pasando)</th></tr> <tr><th colspan="8">Abertura (mm)</th></tr> <tr><td>75.000</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>97</td><td>89</td><td>85</td><td>65</td><td>55</td><td>31</td><td>18</td></tr> </table>	Granulometría (% pasando)								Abertura (mm)								75.000	50.000	38.100	25.000	19.000	4.750	2.000	0.430	0.075	100	99	97	89	85	65	55	31	18										
Granulometría (% pasando)																																														
Abertura (mm)																																														
75.000	50.000	38.100	25.000	19.000	4.750	2.000	0.430	0.075																																						
100	99	97	89	85	65	55	31	18																																						
48.0	Relleno	<p>Material granular compacto, color café oscuro. Tamaño máximo 8.0 cm. W natural: 12.7% W óptima = 13.6% LIMITES DE ATTERBERG Densidad máx (PE) = 1838kg/m³ LL: NP LP: NP IP: NP</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th colspan="11">Granulometría (% pasando)</th></tr> <tr><th colspan="11">Abertura (mm)</th></tr> <tr><td>75.000</td><td>50.000</td><td>38.100</td><td>25.000</td><td>19.000</td><td>12.500</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>93</td><td>82</td><td>70</td><td>64</td><td>58</td><td>54</td><td>49</td><td>43</td><td>29</td><td>18</td></tr> </table>	Granulometría (% pasando)											Abertura (mm)											75.000	50.000	38.100	25.000	19.000	12.500	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075	100	93	82	70	64	58	54	49	43	29	18
Granulometría (% pasando)																																														
Abertura (mm)																																														
75.000	50.000	38.100	25.000	19.000	12.500	9.500	4.750	2.000	0.430	0.075																																				
100	93	82	70	64	58	54	49	43	29	18																																				
	Sub rasante	<p>Suelo arcilloso muy compacto, color café claro. W natural: 31.9% W óptima = 25.1% LIMITES DE ATTERBERG Densidad máx (PE) = 1486kg/m³ LL: 56.8 CBR lab. al 95% (0.1") = 5.0% LP: 26.0 CBR lab. al 95% (0.2") = 4.5% IP: 30.8 CBR sitio = 4.4%</p>																																												

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

PROYECTO: Quebradas - San Isidro de Heredia

SONDEO CA-3

UBICACIÓN: 1+540

N° muestra

(*) 232-03-A: base granular

(*) 232-03-B: subbase granular

(*) 232-03-C: relleno

(*) 229-03: subrasante

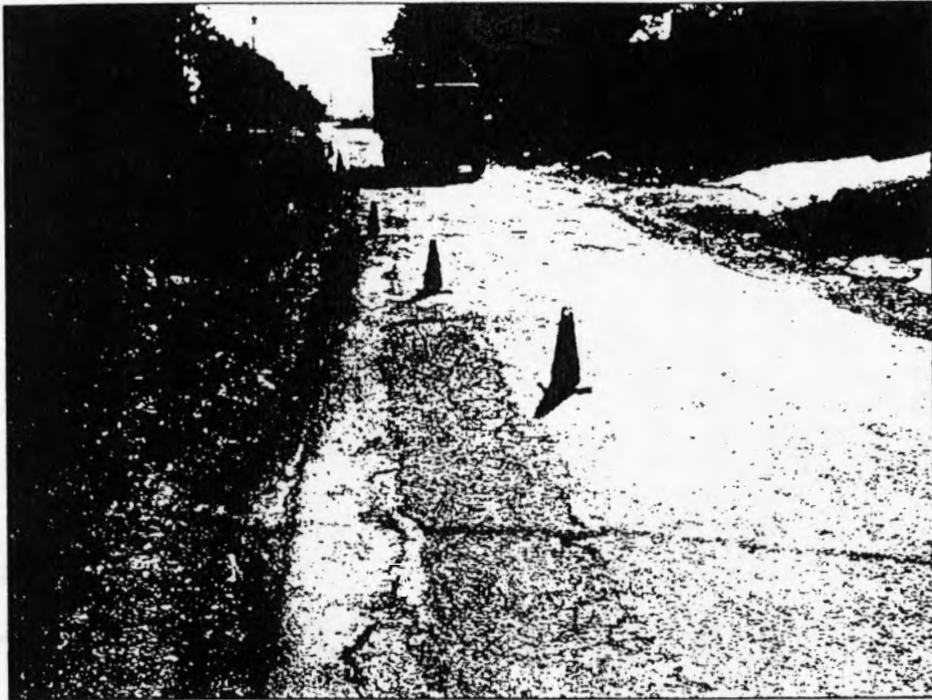
FECHA DE MUESTREO: 12 de marzo del 2003

(*) numeración bitácora Lanamme.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCIÓN						
4.0	Capa Asfáltica	Capa muy agrietada.						
10.0	Base granular	Material granular medianamente compacto, color café rojizo. Tamaño máximo 4.0 cm. W natural: 10.1%						
6.0	Subbase granular	Material granular medianamente compacto, color gris oscuro. Tamaño máximo 3.0 cm. W natural: 16.3%						
35.0	Relleno	Material granular medianamente compacto, color gris claro. W natural: 17.4%						
	Sub rasante	Suelo arcilloso muy compacto, color café marrón. W óptima = 30.0% Densidad máx (PE) = 1414.0kg/m ³ CBR sitio = 4 % CBR lab. al 95% (0.1") = 2.7% CBR lab. al 95% (0.2") = 2.3% LIMITES DE ATTERBERG LL: 62.7 LP: 26.7 IP: 36.0						
Granulometría (% pasando)								
Abertura (mm)								
12.500	9.500	4.750	2.000	0.850	0.430	0.250	0.150	0.075
100	100	100	99	99	97	97	95	92

ANEXO N°3

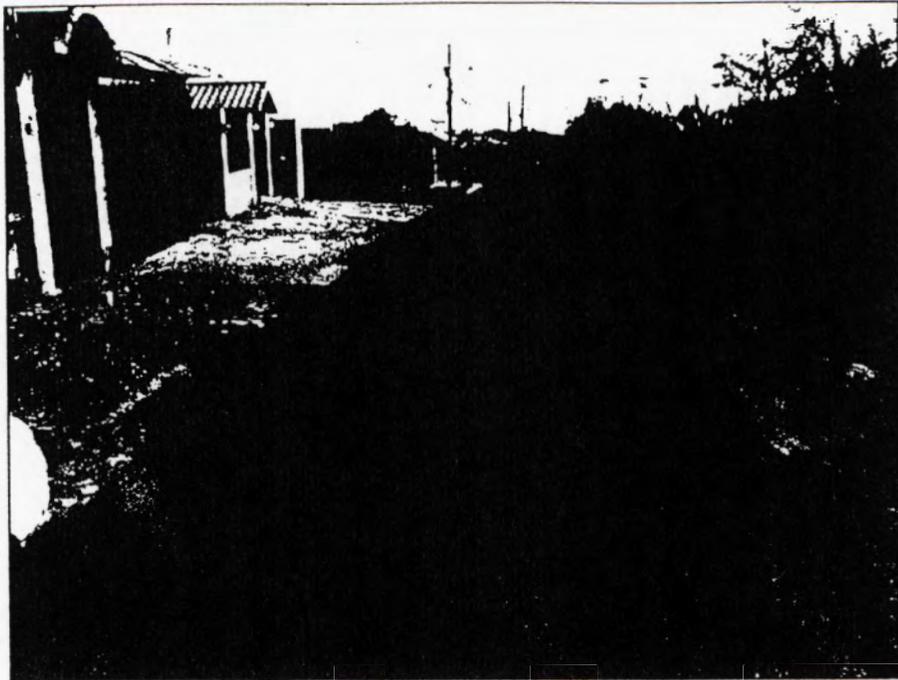
FOTOGRAFIAS



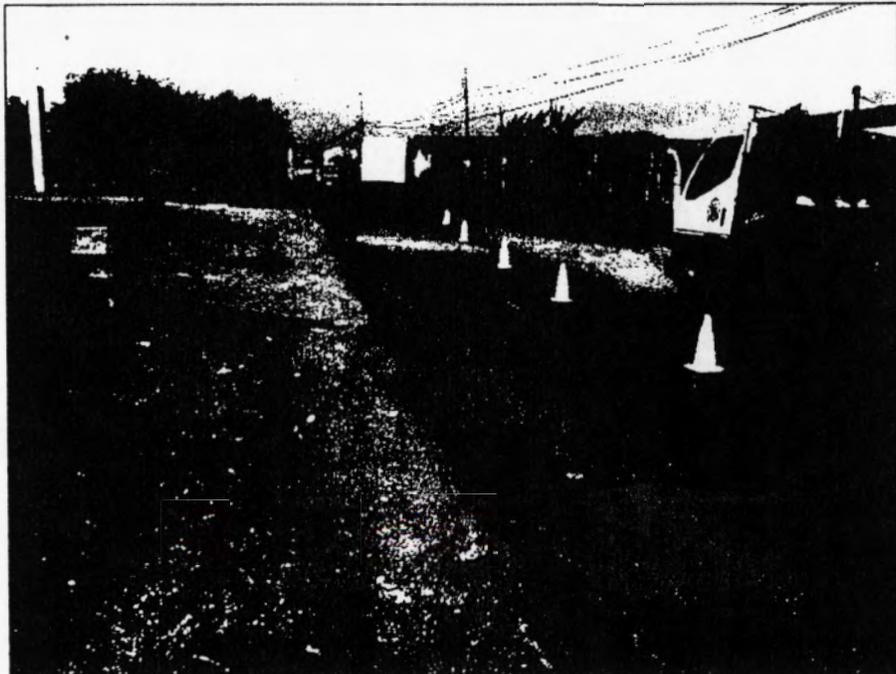
Fotografía N°1: Deterioro del pavimento en la estación 1+000.



Fotografía N°2: Condición de pavimento y drenaje cerca de la estación 1+500.



Fotografía N°3: Condición de pavimento cercano a la estación 0+300.



Fotografía N°4: Condición de pavimento cercano a la estación 1+000.

ANEXO N°4

UBICACIÓN DEL PROYECTO

Puntos de prueba con el deflectómetro en
San Isidro de Heredia, 6 de Febrero del 2011

