

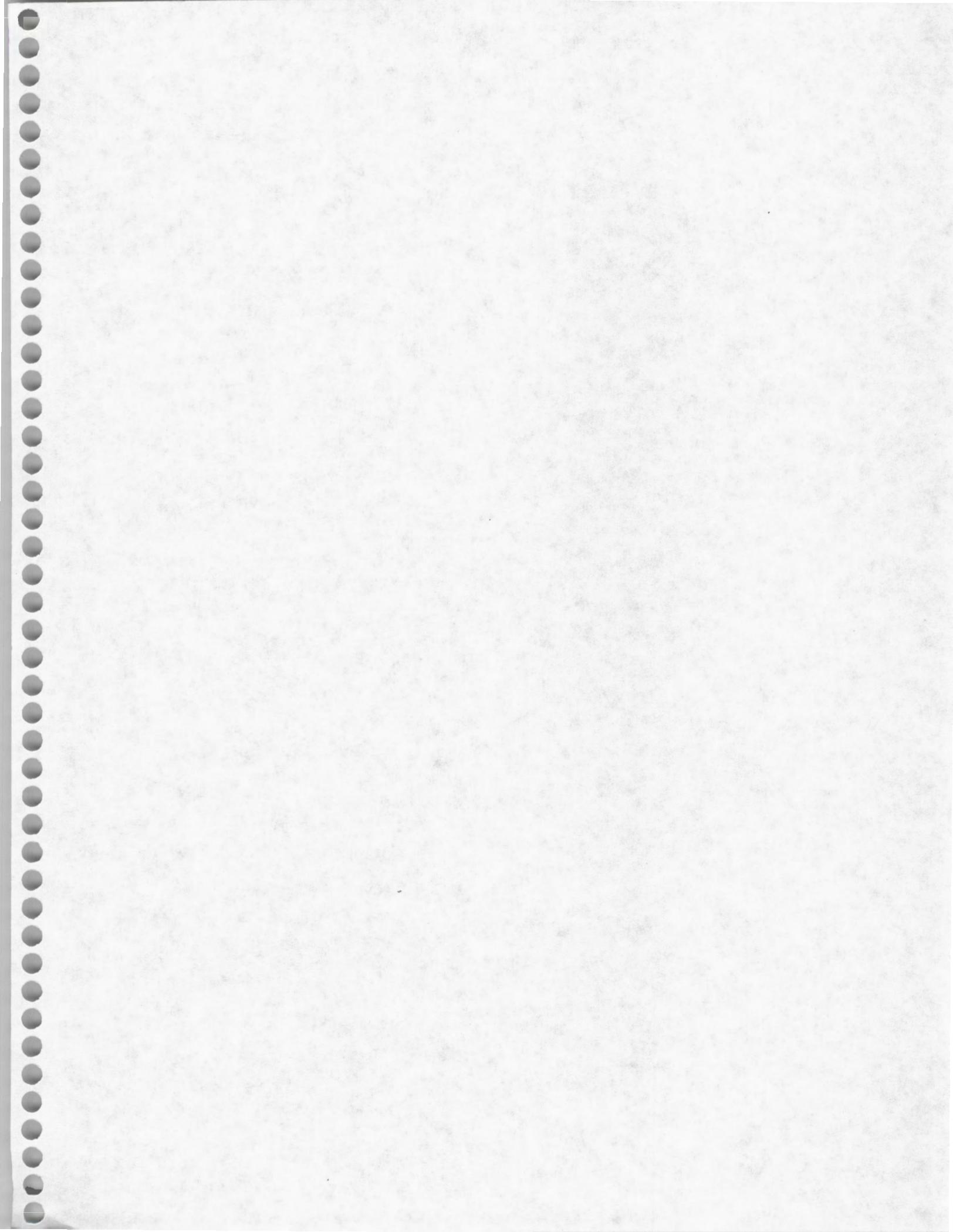


**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y**  
**MODELOS ESTRUCTURALES**

**CARRETERA BERNARDO**  
**SOTO**

**ANALISIS ESTRUCTURAL  
DEL PAVIMENTO  
EN CONDICION ACTUAL**





**Carretera Bernardo Soto**

**Análisis estructural del pavimento  
en condición actual**

**Agosto de 2000**

---



Laboratorio Nacional de  
Materiales y Modelos Estructurales

1 de septiembre de 2000  
LM-IC-480-00

Señor  
Ing. Olman Elizondo  
Consejo Nacional de Concesiones  
Presente

Estimado señor:

Por este medio me permito remitir el informe denominado  
**CARRETERA BERNARDO SOTO: Análisis estructural del pavimento  
en condición actual.**

Sin otro particular, me suscribo atentamente,



Dr. Juan A. Pastor G.  
Director  
LANAMME

c.c. Ing. Mario Arce, Coordinador, Programa Mantenimiento Rutinario  
car

---

Código Postal 2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Tel. (506) 207-5423 Fax (506) 253-4911

**Autores:**

**Ing. Mario Arce Jiménez**

**Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc.**

**Apoyo logístico:**

**Raquel Arriola**

**Jenny Chaverri**

## **CARRETERA BERNARDO SOTO: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN CONDICION ACTUAL**

### **1. OBJETIVOS**

Los objetivos de este estudio se resumen a continuación:

- En los tramos donde no se construyó la base estabilizada con cemento; evaluar el deterioro inducido sobre la estructura del pavimento como consecuencia de no haberse ejecutado el trabajo de reconstrucción de la vía.
- En los tramos donde se construyó la base estabilizada con cemento; evaluar el aporte estructural de dicha capa, en las condiciones en que se encuentra actualmente, para equipararla con una base estabilizada tipo BE-35, de acuerdo con las Especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-77), en un espesor tal que su aporte estructural sea equivalente.

### **2. METODOLOGÍA**

Para realizar este estudio se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Se determinó el perfil de deflexiones del pavimento, utilizando la viga Benkelman, con una carga de eje simple de 8200 kg. Las mediciones se hicieron cada 100 m.
- b. Si hicieron sondeos en la base estabilizada, con el propósito de determinar el espesor y la resistencia a la compresión de esta capa.
- c. Se hicieron valoraciones visuales en sitio, del patrón de agrietamiento presentado por la base estabilizada.
- d. Se hizo un análisis estructural por retrocálculo de módulos resilientes, para determinar el aporte estructural de las capas del pavimento, según la condición actual del pavimento.
- e. En los tramos donde se construyó la base estabilizada, se analizó el aporte estructural de dicha capa y se determinó el espesor equivalente, desde el punto de vista del aporte estructural, a una base estabilizada tipo BE-35 (según el CR-77). Adicionalmente, se hizo un análisis de fatiga de esta capa, para interpretar el patrón de agrietamiento superficial que presenta el pavimento. Con base en este análisis, se determinó la pertinencia de colocar una capa membrana para retardar el fenómeno de reflejo de grietas en la capa de rodamiento, que se debe colocar para proteger a la estructura del pavimento de un inminente proceso de deterioro acelerado.

- f. En los tramos donde no se construyó la base estabilizada, se evaluó la condición estructural del pavimento y posteriormente se diseñó la estructura que, bajo el estado actual de la carretera, se requiere construir en este momento. De este análisis se obtiene la diferencia de espesores que se requeriría adicionar actualmente a la estructura del pavimento, de modo que se logre la misma capacidad estructural que bajo las condiciones previas requería esta carretera.

### **3. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO**

#### **3.1. Análisis deflectométrico**

El perfil deflectométrico se hizo por medio de mediciones con la viga Benkelman, cada 100 m.

En la Tabla 3.1 y las Figura 3.1 a 3.9 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en este ensayo, para las diferentes secciones homogéneas.

Nota: las secciones homogéneas se definen en términos de: a) espesores de capas y solicitaciones de tránsito (ejes simples equivalentes de 8200 kg), y b) deflexiones medidas en agosto de 2000.

#### **3.2. Evaluación de espesores y resistencia**

En la Tabla 3.2 se presentan los espesores de capas medidos a partir de cada uno de los sondeos por extracción de núcleos a lo largo de la vía.

Adicionalmente, los núcleos fueron llevados al laboratorio para determinar la resistencia a la compresión simple (Tabla 3.3).

Desde el punto de vista de resistencia, la mayoría de los núcleos se desintegraron en el mismo sitio, al momento de ser cortados para su posterior extracción. La Tabla 3.3 presenta los detalles correspondientes.

Una condición generalizada, observada a partir de la extracción de los núcleos, es que la base estabilizada presenta más resistencia en su parte superior, lo que denota deficiencias constructivas, especialmente asociadas con la compactación. Esto se comprueba por el hecho de que en la mayoría de los casos (ver Tabla 3.2), los núcleos extraídos se desintegraron en el proceso de su extracción, especialmente en su parte inferior.

Es evidente que, al comparar con una base estabilizada tipo BE-35 (resistencia media de 30 kg/cm<sup>2</sup>, a la compresión, a los 7 días), las resistencias alcanzadas son bajas.

Adicionalmente, del análisis deflectométrico se deduce que la mayor desviación estándar del perfil de deflexiones se obtuvo para los tramos donde se construyó la base estabilizada, la que denota dispersión alta de los valores de resistencia en esta capa, o sea la variabilidad en el proceso constructivo

### **3.3. Patrón de deterioro superficial**

Sobre la base estabilizada se colocó una capa delgada de mezcla asfáltica (sello). Coincidente con el análisis teórico de capacidad a fatiga de la base estabilizada (Sección 4.2), se observa, en la superficie, un patrón de agrietamiento del tipo "cuero de lagarto". El tamaño pequeño de los bloques de agrietamiento se explica por el hecho de que en la base estabilizada, además de presentarse valores bajos de resistencia, se observó una diferencia de la resistencia entre la parte superior e inferior de la capa.

En algunas zonas, pese a que se colocó la capa asfáltica de protección, se observaron desprendimientos en la base estabilizada de severidad de media a alta. Esta condición del deterioro, también es coincidente con los tres aspectos antes señalados:

- Fatiga de la base estabilizada.
- Baja resistencia a la compresión en la base estabilizada.
- Valores más altos de resistencia en la parte superior de la base estabilizada.

## **4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

### **4.1. Retrocálculo de módulos resilientes.**

El retrocálculo de módulos se realiza a partir de la modelación de una estructura multicapa elástica, mediante el programa ELSYM5.

Para las diferentes secciones homogéneas se consideraron al menos dos condiciones para la modelación de rigidez en las capas integrantes del pavimento: a) condición con probabilidad del 90 % de superar cualquier deflexión de campo medida en una posición aleatoria; y b) condición con probabilidad del 93 % de superar cualquier deflexión de campo medida en una posición aleatoria.

Nota: para la sección homogénea 3C se realiza el análisis para condiciones de deflexión con probabilidades de superar una deflexión de campo medida en una posición aleatoria de 67 %, 91 % y 99 %.

Se utilizan los espesores de diseño utilizados en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, 1998.

Los resultados del retro-cálculo de módulos se presentan en:

- Tabla 4.1., para el tramo Aeropuerto – Manolo's;
- Tabla 4.2., para el tramo Manolo's – San Ramón, donde no se ha colocado una base estabilizada con cemento;
- Tabla 4.3., para el tramo Manolo's – San Ramón, donde ya se construyó una base estabilizada con cemento.

#### **4.2. Evaluación de la condición actual en el tramo Manolo's – San Ramón, donde ya se ha colocado una base estabilizada con cemento.**

Considerando los resultados del retrocálculo de módulos, se determinó el nivel de esfuerzo por tracción en la fibra inferior de la base estabilizada con cemento al aplicar un eje simple de carga de 8200 kg y se comparó con la resistencia correspondiente a la tracción. La resistencia a la tracción fue determinada a partir del módulo resiliente retrocalculado para la base estabilizada con cemento. Los resultados se presentan en la Tabla 4.4.

Como resultado del análisis y teniendo en cuenta el número de ejes equivalentes de 8200 kg que en un mes son inducidos por el tránsito en esta vía, se encuentra que hay sectores de la base estabilizada donde ya se alcanzó la falla por fatiga; lo cual corresponde con los casos donde la razón de esfuerzo por tracción en la fibra inferior de la base estabilizada y la resistencia a la tracción para la base estabilizada está cercana, o superior, a 0.65.

#### **4.3. Evaluación de la aplicabilidad de los espesores de diseño originales.**

De acuerdo con el esquema metodológico propuesto (Apartado 2), se realizó un diseño estructural a partir de las condiciones de diseño originales, presentadas en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, *op. cit.*, obteniéndose los siguientes conclusiones:

- La capacidad de soporte de la base estabilizada se presenta, para diferentes casos de condición existente, en la Tabla 4.5.
- La capa de base estabilizada construida, en el tramo Manolo's-San Ramón donde ya se construyó la base estabilizada con cemento, representa una condición de rigidez equivalente a una base estabilizada con cemento BE-35 de un espesor de 10.0 a 15.0 cm (Tabla 4.6).

- El espesor de losa de concreto hidráulico a aplicar en las condiciones actuales de las secciones del tramo Manolo's – San Ramón donde ya se ha colocado una base estabilizada, para lograr una estructura de pavimento de acuerdo con las condiciones originales presentadas en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, op. cit., es de 26.0 cm (Tabla 4.7).

Nota: recuérdese que dada la condición de fatiga en la capa de base estabilizada, se requiere de la aplicación de una capa asfáltica membrana, para el control del reflejo de grietas.

- El espesor de base estabilizada con cemento, equivalente con una BE-35, para que la aplicación de una losa de 23.0 cm sea equivalente a la estructura de diseño original presentada en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, op. cit., es de 23 a 32 cm, para el tramo Aeropuerto – Manolo's (Tabla 4.8), y de 26 a 33 cm, para el tramo Mancio's – San Ramón donde aún no se ha colocado una base estabilizada con cemento (Tabla 4.9).

## 5. CONCLUSIONES

- La base estabilizada con cemento, del tramo Manolo's – San Ramón equivale, en capacidad estructural (definida a partir del módulo de reacción para la base de apoyo de la losa de concreto hidráulico), a una base estabilizada con cemento BE-35 de un espesor entre 10.0 y 15.0 cm.
  - Estacionamiento 28+000 a 30+190: espesor típico equivalente de 12.0 cm
  - Estacionamiento 30+190 a 32+320: espesor típico equivalente de 10.0 cm
  - Estacionamiento 32+320 a 41+406: espesor típico equivalente de 15.0 cm
- Para cumplir con los requisitos de diseño definidos en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, op. cit., se requiere, para el tramo Manolo's – San Ramón donde ya se ha construido una base estabilizada, la colocación de una capa asfáltica del tipo membrana (para evitar la proyección de grietas de la base estabilizada hacia la superficie de ruedo) y la construcción de una losa de concreto hidráulico de 26.0 cm.
- La capa asfáltica del tipo membrana tiene como único propósito retardar el reflejo de grietas. Sobre ésta se debe colocar una capa que proteja a la estructura de pavimento del deterioro, ante la aplicación de las cargas de tránsito. La capa membrana debe cumplir con los siguientes requisitos:
  - Espesor: 2.5 cm
  - Tipo de mezcla: mezcla densa de graduación fina, de alto módulo de rigidez.
  - Tipo de ligante asfáltico: se debe usar un ligante que cumpla con un grado de desempeño tal que la temperatura de desempeño superior máxima sea de 76°C y la temperatura de desempeño intermedia sea de 16°C (o menos).
- Para cumplir con los requisitos de diseño definidos en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, op. cit., se requiere, para el tramo Manolo's – San Ramón donde aún no se ha construido la base estabilizada con cemento, la construcción de una base estabilizada con cemento BE-35 con un espesor de 26.0 a 33.0 cm. Se plantea la escarificación de 20 cm a partir del nivel de rasante actual, con la incorporación de agregado nuevo, para completar el espesor requerido.
  - Estacionamiento 10+000 a 12+600: espesor típico de BE-35 de 33 cm
  - Estacionamiento 12+600 a 15+400: espesor típico de BE-35 de 33 cm
  - Estacionamiento 15+400 a 18+380: espesor típico de BE-35 de 26 cm
  - Estacionamiento 18+380 a 28+000: espesor típico de BE-35 de 26 cm

- Para cumplir con los requisitos de diseño definidos en Evaluación del diseño de pavimento rígido para la rehabilitación de la Autopista Bernardo Soto, LANAMME, op. cit., se requiere, para el tramo Aeropuerto – Manolo's, la construcción de una base estabilizada con cemento BE-35 con un espesor de 23.0 a 32.0 cm. Se plantea la escarificación de 20 cm a partir del nivel de rasante actual, con la incorporación de agregado nuevo, para completar el espesor requerido.
  - Estacionamiento 0+000 a 6+150: espesor típico de BE-35 de 23 cm
  - Estacionamiento 6+150 a 10+000: espesor típico de BE-35 de 32 cm

**TABLAS Y FIGURAS**

**Tabla 3.1: Resumen de resultados de deflectometría por sección homogénea.**

No. Tramo	Sección	Estacionamiento	Distancia (Km)	Deflexión promedio (x)	Desviación estándar de deflexión ( $\sigma$ )	$x + 1.3*\sigma$	$x + 1.475*\sigma$
No. 1 (1)	1-a	0+000 al 6+150	10	67.56	10.63	81.38	83.24
	1-b	6+150 al 10+000		74.19	13.46	91.69	94.05
No. 2 (2)	2-a	10+000 al 12+600	17	83.4	17.25	105.83	108.85
	2-b	12+600 al 15+400		90.17	17.48	112.9	115.96
	2-c	15+400 al 18+380		76.94	15.81	97.48	100.25
	2-d	18+380 al 28+000		73.73	16.04	94.59	97.39
No. 3 (3)	3-a	28+000 al 30+190	13	91.05	19.95	116.98	120.47
	3-b	30+190 al 32+320		124.76	31.87	166.19	171.77
	3-c	32+320 al 41+406		70.14	22.16	98.94	102.82

(1) Aeropuerto - Manolo's

(2) Manolo's - San Ramón, donde no se ha construido la base estabilizada con cemento.

(3) Manolo's - San Ramón, con base estabilizada con cemento.

**Tabla 3.2: Espesores de capas en tramo Manolos-San Ramón, sección con base estabilizada con cemento (1).**

Sondeo	Estación	Espesor de base estabilizada con cemento (cm)	Condición del núcleo extraído	Espesor de capa asfáltica superficial (cm)
1	27+713	18.0	desintegrado	3.0
2	28+742	20.5	deteriorado	2.5
3	29+142	25.0	fragmentado en dos piezas	2.0
4	29+590	18.0	desintegración de base (2)	4.0
5	29+990	20.0	desintegrado con sobretamaño	1.5
6	30+700	22.0	desintegrado	4.5
7	31+300	20.0	desintegrado	1.5
8	31+720	19.0	desintegrado	5.0
9	32+120	21.0	desintegrado (3)	2.0
10	32+620	24.0	desintegrado	5.0
11	33+280	19.0	parcialmente sano	2.5
12	33+800	20.0	desintegrado	1.5
13	34+100	24.0	-	4.0
14	34+400	22.5	-	1.5
15	34+750	22.0	-	4.0
17	35+450	20.0	-	2.0
18	35+750	23.5	-	2.5
19	36+080	19.5	-	3.0
20	37+490	21.0	desintegrado	3.0
21	37+818	17.5	entero	2.5
22	38+118	21.5	desintegrado	2.5
23	38+418	20.5	núcleo parcial	2.0
24	38+818	18.0	desintegrado	2.0
25	39+150	21.0	desintegrado	3.0
26	39+450	21.0	desintegrado	4.0
27	39+900	22.0	desintegrado	1.5
28	41+040	22.0	desintegrado	2.0
29	41+436	21.0	-	4.0
<b>Promedio</b>		<b>20.8 (4)</b>		<b>2.8</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>1.9</b>		<b>1.1</b>

(1) Muestreo realizado los días 29 y 30 de agosto del 2000.

(2) Hubo desintegración total excepto en los 6 cm superiores.

(3) Deterioro severo con agrietamiento y huecos. cercanías al puente del Río Grande

(4) 66.3% de los espesores, de acuerdo con la aplicación de Inferencia Estadística, están por de bajo de 20.0 cm; 7.1% de los espesores están bajo 18.0 cm.

**Tabla 3.3: Resistencia a la compresión para núcleos de base estabilizada con cemento**

Número de núcleo	Estación	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la compresión con altura/diámetro = 2 (kg/cm <sup>2</sup> ) (1)
13	34+100	10.0	19.9	39.0	39.0
19	36+080	10.0	12.4	32.9	31.0 (2)
21	37+818	10.0	14.2	39.8	38.2 (2)
22	38+118	10.0	10.0	50.8	46.2 (2)
29	41+436	10.0	10.5	76.1	69.3 (2)

(1) Valores de resistencia por la relación altura-diámetro.

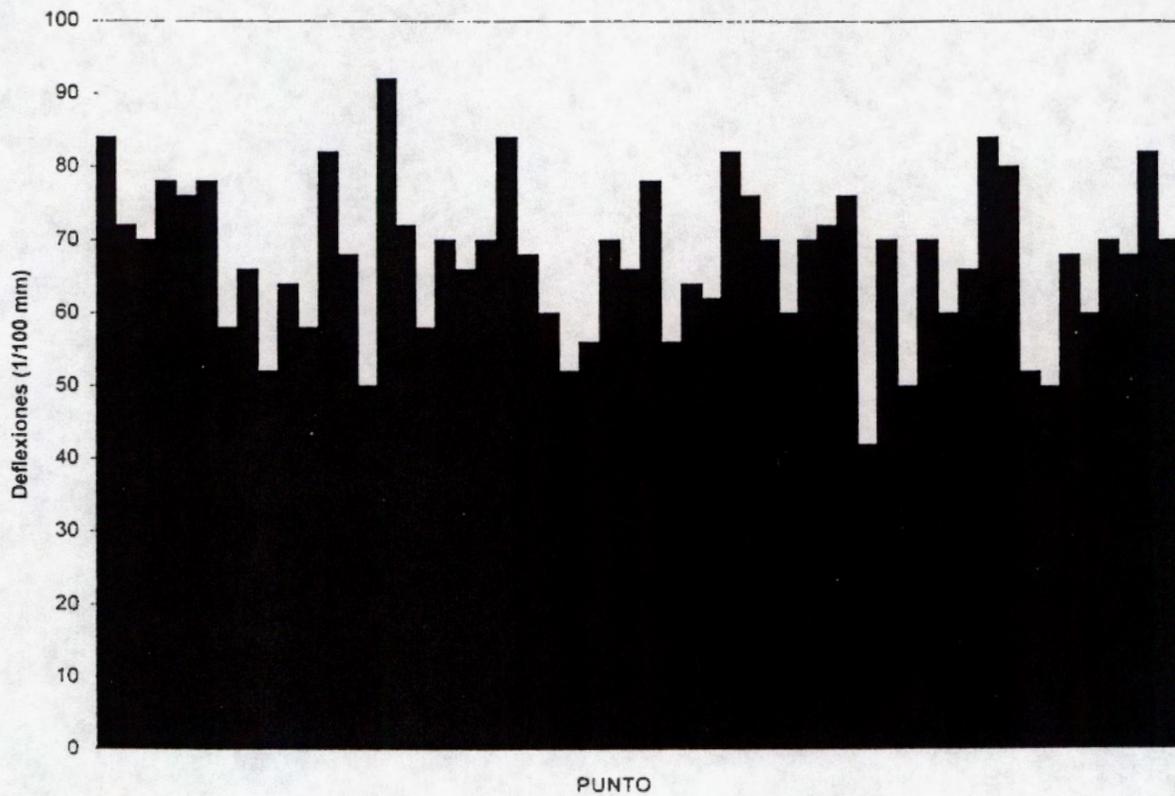
(2) Estos valores de resistencia no son representativos de toda la capa de base, porque se falló en el laboratorio la parte superior de la capa. La parte inferior no se recuperó.

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 1: Aeropuerto - Manolo's  
 SECCIÓN: 1a  
 Puntos: 343-399

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

**PERFIL DE DEFLEXIONES**



Estacionamiento: 0+000 al 6+150

PROMEDIO	67.56	DESV.EST.	10.63
x+1.3s	81.38		
x+1.475s	83.24		

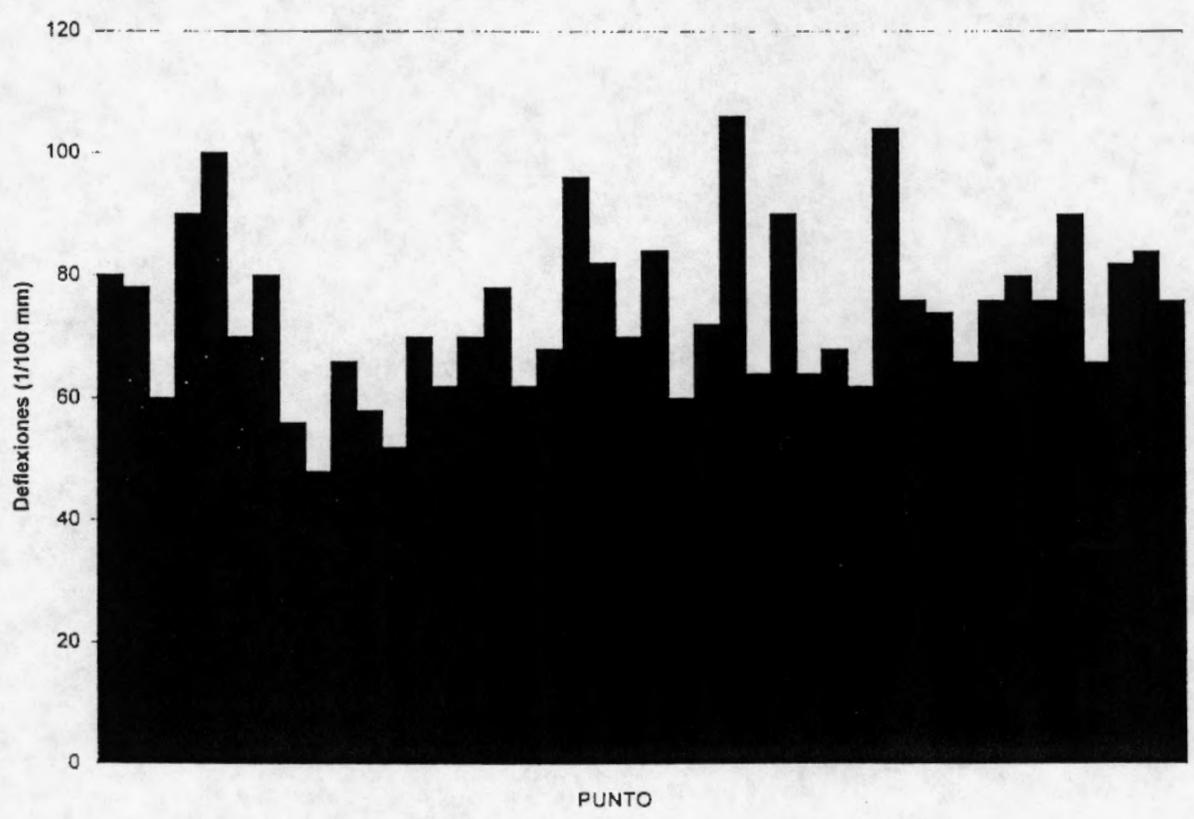
**Figura 3.1 Deflexiones en sección 1a.**

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

RUTA Noº: 1  
 TRAMO 1: Aeropuerto - Manolo's  
 SECCIÓN: 1b  
 Puntos: 300-342

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 6+150 al 10+000

PROMEDIO	74.19	DESV.EST.	13.46
x+1.3s	91.69		
x+1.475s	94.05		

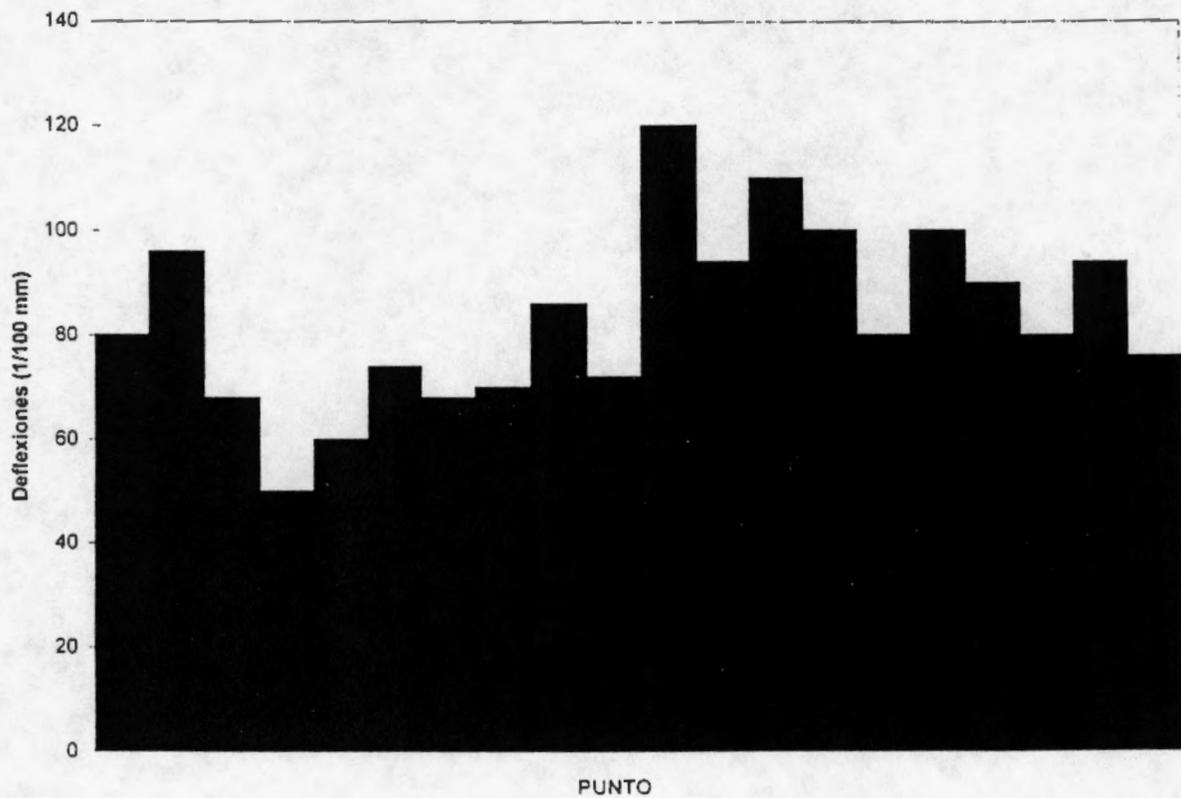
**Figura 3.2 Deflexiones en sección 1b**

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 2: Manolo's - San Ramón (no BE)  
 SECCIÓN: 2a  
 Puntos: 279-299

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 10+000 al 12+600

PROMEDIO	83.40	DES.V.EST.	17.25
x+1.3s	105.83		
x+1.475s	108.85		

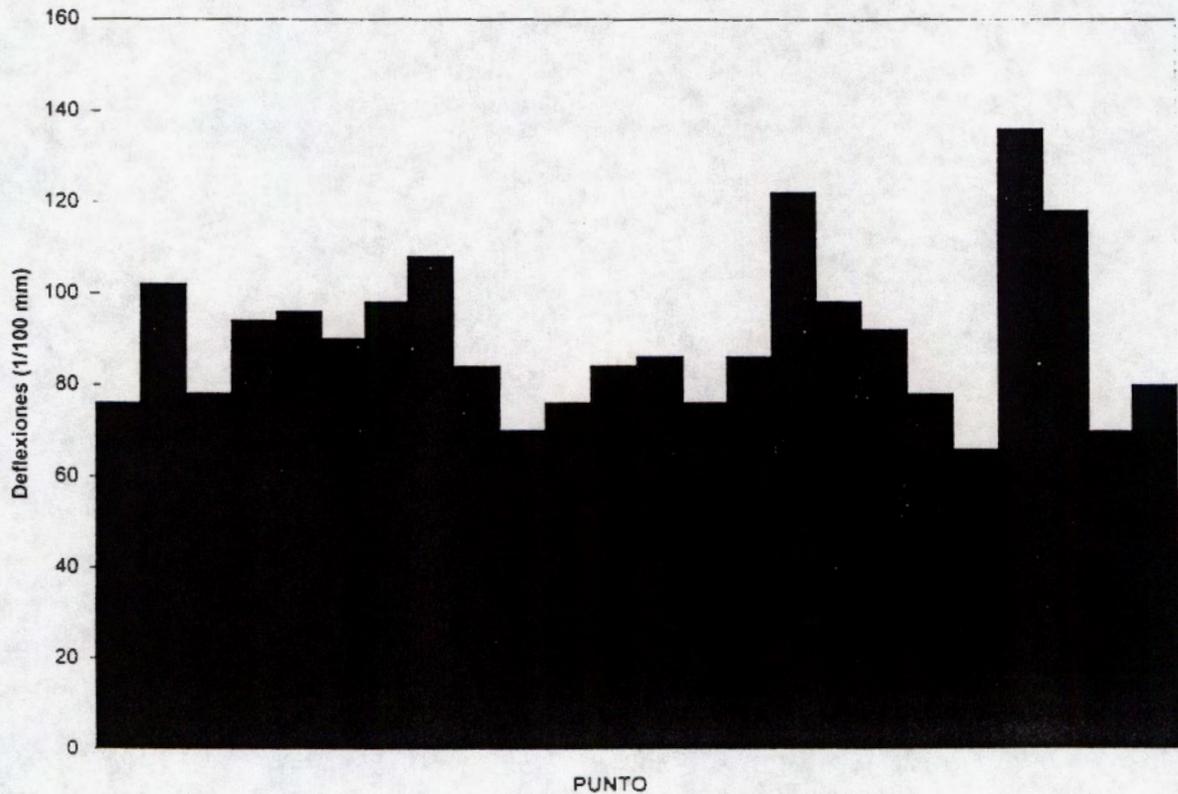
Figura 3.3 Deflexiones en sección 2a.

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

RUTA Noº: 1  
 TRAMO 2: Manolo's - San Ramón (no BE)  
 SECCIÓN: 2b  
 Puntos: 255-278

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

**PERFIL DE DEFLEXIONES**



Estacionamiento: 12+600 al 15+400

PROMEDIO	90.17	DESV. EST.	17.48
x+1.3s	112.90		
x+1.475s	115.96		

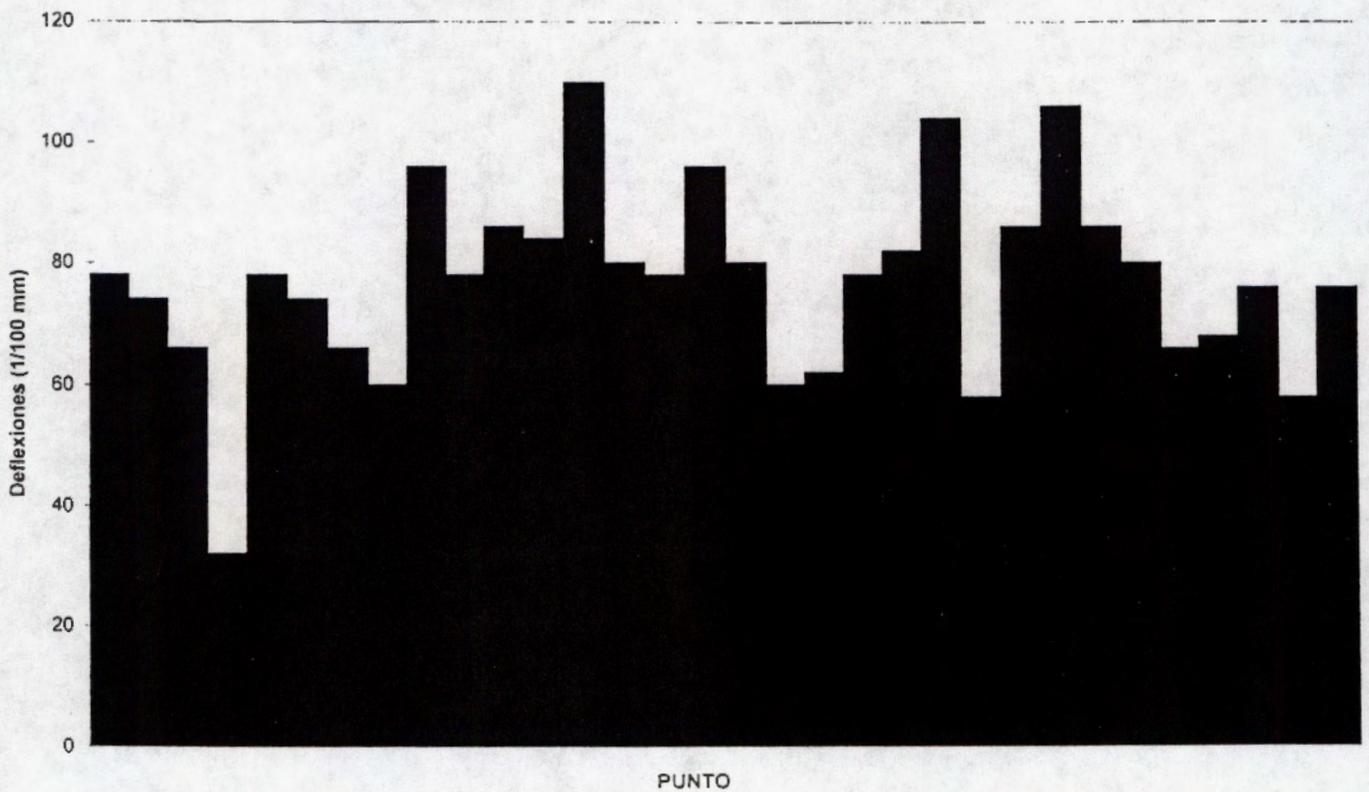
**Figura 3.4 Deflexiones en sección 2b.**

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 2: Manolo's - San Ramón (no BE)  
 SECCIÓN: 2c  
 Puntos 224-254

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

**PERFIL DE DEFLEXIONES**



Estacionamiento: 15+400 al 18+380

PROMEDIO	76.94	DESV.EST.	15.81
x+1.3s	97.48		
x+1.475s	100.25		

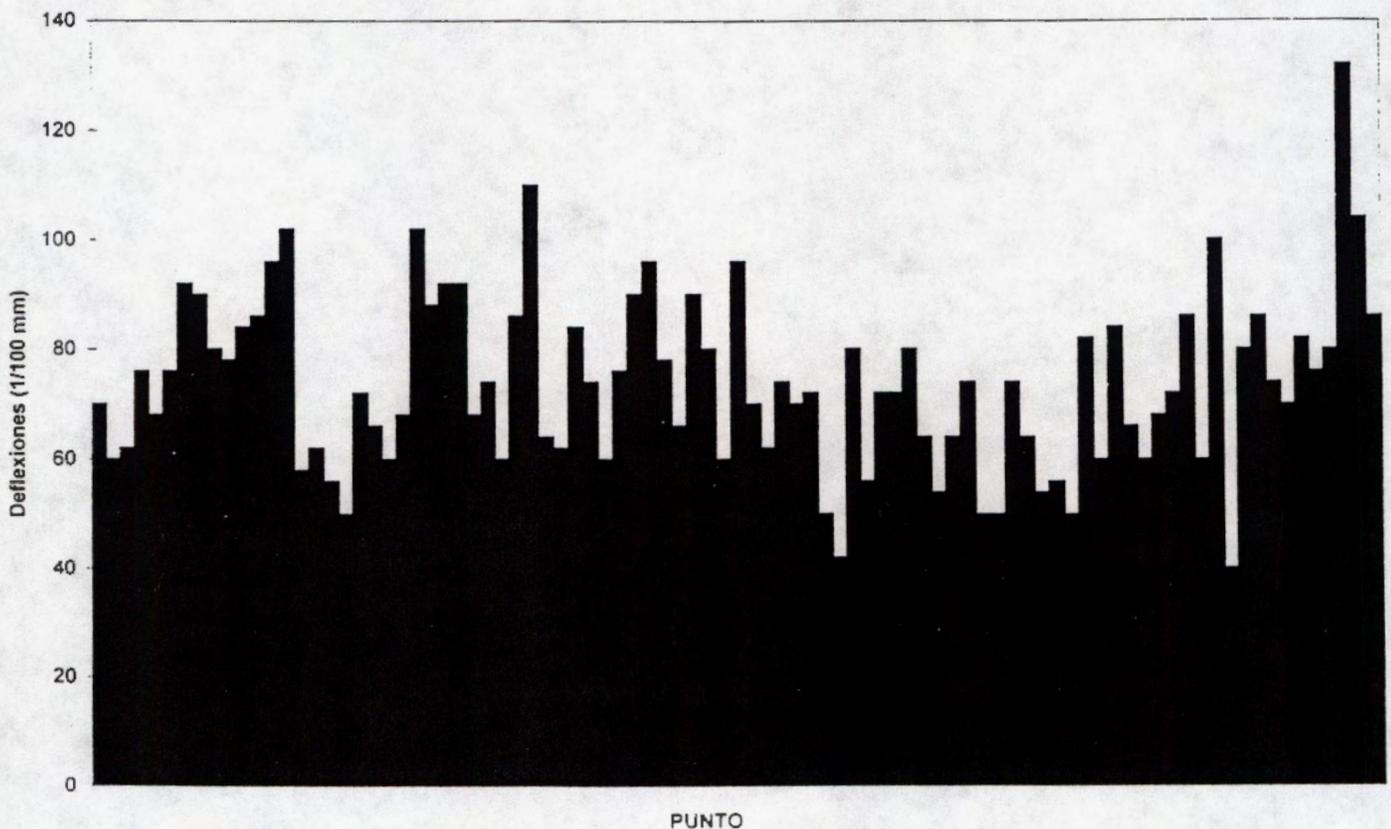
**Figura 3.5 Deflexiones en sección 2c.**

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

RUTA Noº: 1  
 TRAMO 2: Manolo's - San Ramón (no BE)  
 SECCIÓN: 2d  
 Puntos 131-223

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 SENTIDO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 18+380 al 28+000

PROMEDIO	73.73	DESV.EST.	16.04
x+1.3s	94.59		
x+1.475s	97.39		

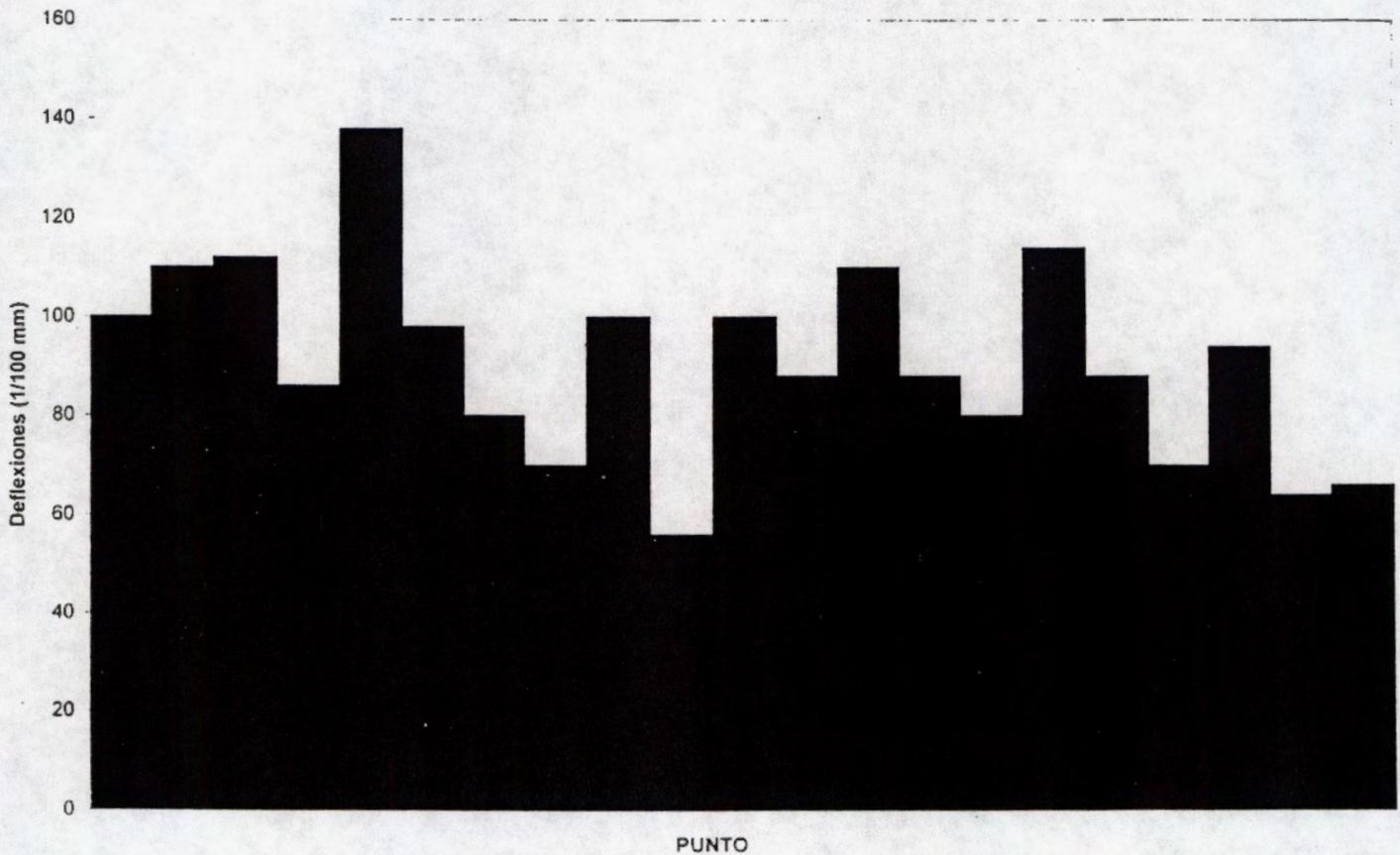
Figura 3.6 Deflexiones en sección 2d.

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 3: Manolo's - San Ramón (con BE)  
 SECCIÓN: 3a  
 Puntos 110-130

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón.  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 28+000 al 30+190

PROMEDIO	91.05	DESV. EST.	19.95
x+1.3s	116.98		
x+1.475s	120.47		

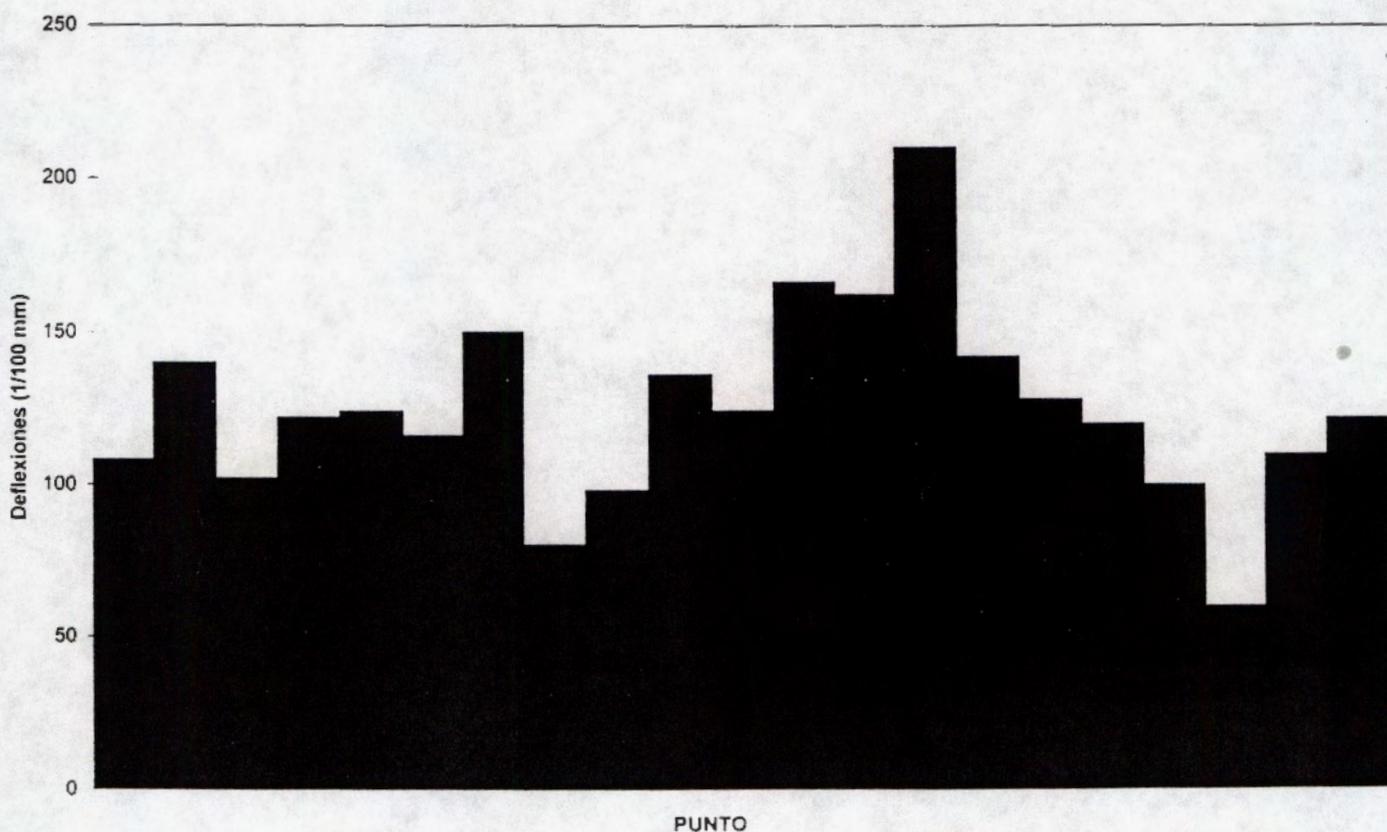
Figura 3.7 Deflexiones en sección 3a.

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 3: Manolo's - San Ramón (con BE)  
 SECCIÓN: 3b  
 Puntos 89-109

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 30+190 al 32+320

PROMEDIO	124.76	DESV. EST.	31.87
x+1.3s	166.19		
x+1.475s	171.77		

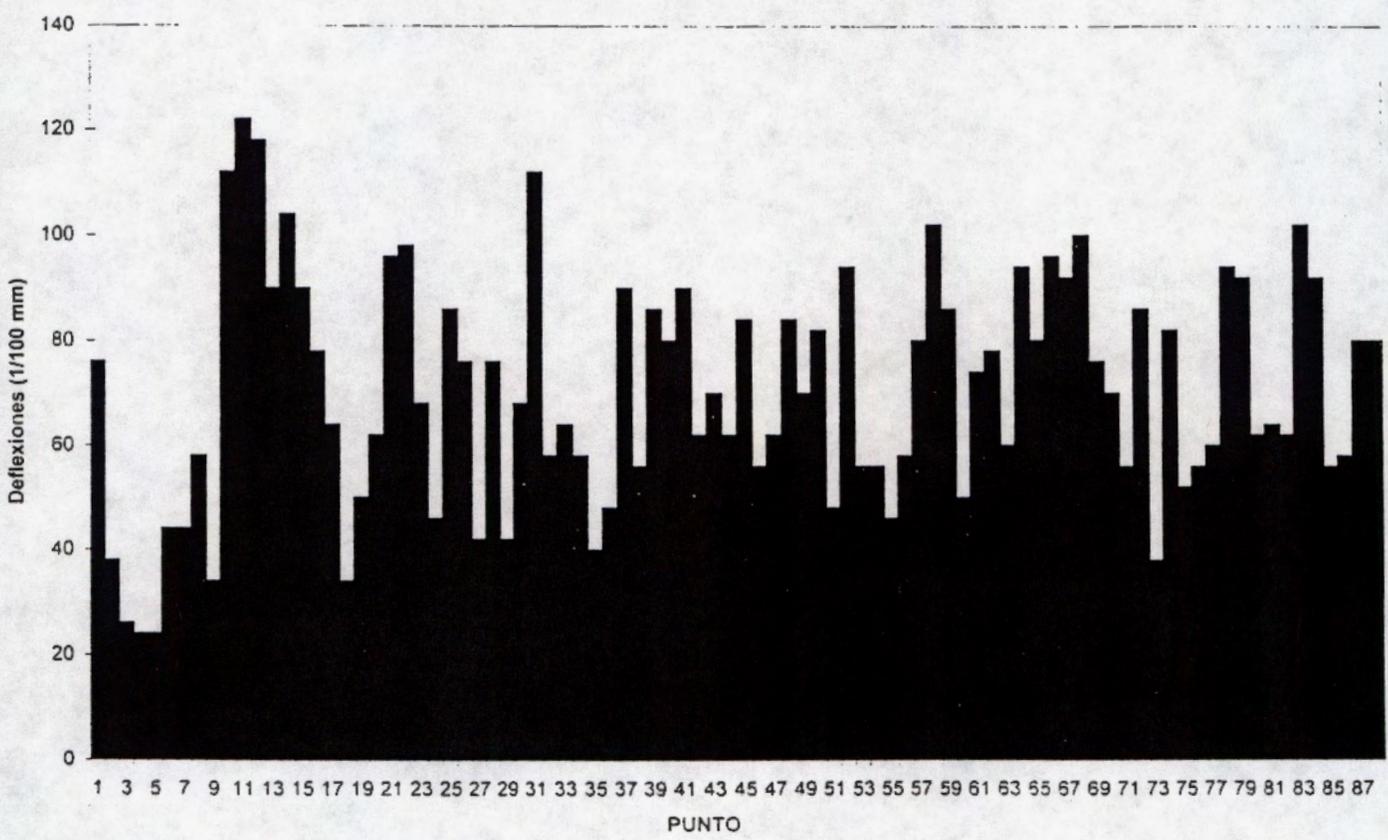
Figura 3.8 Deflexiones en sección 3b.

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

RUTA No°: 1  
 TRAMO 3: Manolo's - San Ramón (con BE)  
 SECCIÓN: 3c  
 Puntos 1-88

PROYECTO: Aeropuerto-San Ramón  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



Estacionamiento: 32+320 al 41+406

PROMEDIO	70.14	DESV. EST.	22.16
x+1.3s	98.94		
x+1.475s	102.82		

Figura 3.9 Deflexiones en sección 3c.

**Tabla No.4.1: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Aeropuerto - Manolo's, con base granular**

**TRAMO 1A (Estacionamiento del 0+000 al 6+500)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 15 cm	Base Granular de 17 cm	Sub-base de 21 cm	Sub-rasante
81.38	320000	36000	18000	6000
83.24	310000	35000	16000	6000

**TRAMO 1A (Estacionamiento del 0+000 al 6+500)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 15 cm	Base Granular de 17 cm	Sub-base de 21 cm	Sub-rasante
81.38	200000	25000	14000	8000
83.24	200000	25000	13000	8000

**TRAMO 1B (Estacionamiento del 6+500 al 10+000)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 15 cm	Base Granular de 17 cm	Sub-base de 21 cm	Sub-rasante
91.69	250000	25000	16000	6000
94.05	250000	20000	16000	6000

**TRAMO 1B (Estacionamiento del 6+500 al 10+000)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 15 cm	Base Granular de 17 cm	Sub-base de 21 cm	Sub-rasante
91.69	150000	20000	12000	8000
94.05	130000	20000	13000	8000

**Tabla No.4.2.a: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Manolo's - San Ramón, con base granular**

**TRAMO 2A (Estacionamiento del 10+000 al 12+600)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
105.83	200000	25000	16000	6000
108.85	130000	30000	16000	6000

**TRAMO 2A (Estacionamiento del 10+000 al 12+600)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
105.83	120000	20000	15000	8000
108.85	100000	20000	15000	8000

**TRAMO 2B (Estacionamiento del 12+600 al 15+400)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
112.90	110000	30000	14000	6000
115.96	100000	25000	16000	6000

**TRAMO 2B (Estacionamiento del 12+600 al 15+400)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Carpeta asfáltica de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
112.90	100000	20000	12000	8000
115.96	100000	20000	10000	8000

**Tabla No.4.2.b: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Manolo's - San Ramón, con base granular.**

**TRAMO 2C (Estacionamiento del 15+400 al 18+380)**

**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Conc Asf. de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
76.94	600000	45000	27000	6000
97.48	280000	28000	15000	6000
100.25	260000	27000	15000	6000

**TRAMO 2C (Estacionamiento del 15+400 al 18+380)**

**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Conc Asf. de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
76.94	320000	35000	20000	8000
97.48	160000	23000	15000	8000
100.25	150000	21000	15000	8000

**TRAMO 2D (Estacionamiento del 18+380 al 28+000)**

**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Conc Asf. de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
73.73	650000	45000	29000	6000
94.59	300000	30000	16000	6000
97.39	280000	28000	15000	6000

**TRAMO 2D (Estacionamiento del 18+380 al 28+000)**

**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Conc Asf. de 11 cm	Base Granular de 19 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
73.73	370000	35000	20000	8000
94.59	180000	24000	15000	8000
97.39	160000	23000	15000	8000

**Tabla No.4.3.a: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Manolo's - San Ramón, con base estabilizada con cemento**

TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
91.05	240000	18000	12000	6000
116.98	105000	15000	10000	6000
120.47	95000	14000	10000	6000

TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
91.05	160000	15000	10000	8000
116.98	65000	15000	10000	8000
120.47	60000	14000	10000	8000

TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
91.05	220000	16000	10000	6000
116.98	90000	15000	10000	6000
120.47	80000	14000	10000	6000

TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
91.05	130000	15000	10000	8000
116.98	60000	15000	10000	8000
120.47	53000	14000	10000	8000

**Tabla No.4.3.b: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Manolo's - San Ramón, con base estabilizada con cemento**

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
124.76	80000	14000	10000	6000
166.19	32500	14000	10000	6000
171.77	30000	14000	10000	6000

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
124.76	50000	14000	10000	8000
166.19	24000	14000	10000	8000
171.77	22500	14000	10000	8000

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
124.76	75000	14000	10000	6000
166.19	30000	14000	10000	6000
171.77	28000	14000	10000	6000

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
124.76	50000	14000	10000	8000
166.19	23500	10000	10000	8000
171.77	22000	14000	10000	8000

**Tabla No.4.3.c: Resumen de resultados de retrocálculo de módulos para el tramo Manolo's - San Ramón, con base estabilizada con cemento**

**TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
80	400000	18000	15000	6000
100	200000	15000	10000	6000
120	100000	14000	9000	6000

**TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 18 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 18cm	Base Granular de 12 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
80	250000	15000	10000	8000
100	125000	13500	9000	8000
120	65000	14000	9000	8000

**TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 6000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
80	350000	18000	13000	6000
100	160000	15000	10000	6000
120	80000	15000	10000	6000

**TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la base estabilizada con cemento de 20 cm y un módulo de sub-rasante de 8000 psi**

Deflexiones mm (10E-2)	Base estabilizada con cemento de 20cm	Base Granular de 10 cm	Sub-base de 25 cm	Sub-rasante
80	200000	15000	10000	8000
100	100000	14000	9000	8000
120	53000	15000	10000	8000

**Tabla No. 4.4.a: Evaluación de esfuerzos aplicados en las capas de base estabilizada con cemento y sub-rasante, para la estructura existente en el tramo Manolo's - San Ramón, sección con base estabilizada con cemento (1)**

**TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)**  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi de la base estabilizada con cemento de 18 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (3) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
91.05	1.090	2.00	0.55
116.98	1.550	2.00	0.78
120.47	1.590	2.00	0.80

**TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)**  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi de la base estabilizada con cemento de 18 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (3) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
91.05	1.270	2.00	0.64
116.98	1.940	2.00	0.97
120.47	1.970	2.00	0.99

**TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)**  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi de la base estabilizada con cemento de 20 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (3) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
91.05	0.890	2.00	0.45
116.98	1.410	2.00	0.71
120.47	1.460	2.00	0.73

**TRAMO 3a (Estacionamiento del 28+000 al 30+190)**  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi de la base estabilizada con cemento de 20 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (3) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
91.05	1.190	2.00	0.60
116.98	1.720	2.00	0.86
120.47	1.780	2.00	0.89

**Observaciones**

- (1) Base estabilizada con cemento de 18 a 20 cm, base granular de 12 cm y 10 cm respectivamente, luego de escarificar el pavimento existente: sub - base de 25 cm.
- (2) El esfuerzo aplicado corresponde a la fibra inferior de la base estabilizada con cemento.
- (3) Resistencia a la tracción correspondiente a un módulo resiliente de 500000 psi.

**Tabla No.4.4.b: Evaluación de esfuerzos aplicados en las capas de base estabilizada con cemento y sub-rasante, para la estructura existente en el tramo Manolo's - San Ramón (\*)**

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)**  
**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**  
**de la base estabilizada con cemento de 18 cm**

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
124.76	1.700	2.00	0.85
166.19	2.460	2.00	1.23
171.77	2.520	2.00	1.26

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)**  
**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**  
**de la base estabilizada con cemento de 18 cm**

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
124.76	2.090	2.00	1.05
166.19	2.710	2.00	1.36
171.77	2.760	2.00	1.38

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)**  
**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi**  
**de la base estabilizada con cemento de 20 cm**

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
124.76	1.510	2.00	0.76
166.19	2.180	2.00	1.09
171.77	2.250	2.00	1.13

**TRAMO 3b (Estacionamiento del 30+190 al 32+320)**  
**Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi**  
**de la base estabilizada con cemento de 20 cm**

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t
124.76	1.820	2.00	0.91
166.19	2.390	2.00	1.20
171.77	2.430	2.00	1.22

**Observaciones**

(\*) Base estabilizada con cemento de 18 a 20 cm, base granular de 12 cm y 10 cm respectivamente, luego de escarificar el pavimento existente: sub - base de 25 cm.

(1) El esfuerzo aplicado corresponde a la fibra inferior de la base estabilizada con cemento

(2) Resistencia a la tracción correspondiente a un módulo resiliente de 500000 psi

**Tabla No.4.4.c: Evaluación de esfuerzos aplicados en las capas de base estabilizada con cemento y sub-rasante, para la estructura existente en el tramo Manolo's - San Ramón (\*)**

TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi  
de la base estabilizada con cemento de 18 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t	$\epsilon$ v (cm)
80	0.852	2.00	0.43	1.18E-03
100	1.106	2.00	0.55	1.53E-03
120	1.528	2.00	0.76	1.89E-03

TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi  
de la base estabilizada con cemento de 18 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t	$\epsilon$ v (cm)
80	0.993	2.00	0.50	1.18E-03
100	1.373	2.00	0.69	1.47E-03
120	1.880	2.00	0.94	1.74E-03

TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 6000 psi  
de la base estabilizada con cemento de 20 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t	$\epsilon$ v (cm)
80	0.739	2.00	0.37	1.15E-03
100	1.000	2.00	0.50	1.54E-03
120	1.486	2.00	0.74	1.91E-03

TRAMO 3c (Estacionamiento del 32+320 al 41+406)  
Módulos resilientes (psi), para la sub-rasante de 8000 psi  
de la base estabilizada con cemento de 20 cm

Deflexiones mm (10E-2)	$\sigma$ aplicado (1) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ t (rotura) (2) (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ aplic/ $\sigma$ t	$\epsilon$ v (cm)
80	0.944	2.00	0.47	1.19E-03
100	1.310	2.00	0.66	1.49E-03
120	1.810	2.00	0.91	1.77E-03

**Observaciones**

(\*) Base estabilizada con cemento de 18 a 20 cm, base granular de 12 cm y 10 cm respectivamente, luego de escarificar el pavimento existente: sub - base de 25 cm.

(1) El esfuerzo aplicado corresponde a la fibra inferior de la base estabilizada con cemento

(2) Resistencia a la tracción correspondiente a un módulo resiliente de 500000 psi

**Tabla 4.5: Evaluación de la capacidad de soporte del pavimento existente en el tramo Manolo's - San Ramón, sección para base estabilizada con cemento.**

CAPAS	Espesor		Módulos Resilientes (psi)									
	cm	pulg	100000	250000	350000	100000	350000	100000	250000	350000	100000	350000
BE	18	7.1	100000	250000	350000	100000	350000	100000	250000	350000	100000	350000
BG	10	3.9	14000	14000	14000	18000	18000	14000	14000	14000	18000	18000
SB	25	9.8	9000	9000	9000	15000	15000	9000	9000	9000	15000	15000
SR	-	-	6000	6000	6000	6000	6000	8000	8000	8000	8000	8000

$h_{eq}$ (pulg)	12.4	12.4	12.4	13.2	13.2	12.4	12.4	12.4	12.4	13.2	13.2
$k_{base\ eq}$ (pci)	340	340	340	400	400	430	430	430	430	500	500
$MR_{sub-ras\ eq}$ (psi)	6392	6392	6392	7520	7520	8084	8084	8084	8084	9400	9400
$h_{BE}$ (pulg)	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
$h_{BE}$ (cm)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
$k_{BE}$ (pci)	490	600	620	590	670	690	750	800	710	840	

$h_{eq}$ : espesor equivalente en la capa de apoyo de la base estabilizada

$k_{base\ eq}$ : módulo de reacción en capa de apoyo para la base estabilizada.

$MR_{sub-ras\ eq}$ : módulo resiliente equivalente para la estructura de apoyo para la base estabilizada.

$h_{BE}$ : espesor equivalente para la base estabilizada con cemento BE-35.

$k_{BE}$ : módulo de reacción equivalente en la capa de apoyo de la losa de concreto hidráulico.

**Tabla 4.6: Determinación de espesor equivalente para base estabilizada con cemento BE-35.**

Módulo de reacción en capa de apoyo para la base estabilizada con cemento	Módulo de reacción equivalente en la capa de apoyo de la losa de concreto hidráulico					
	490 pci	620 pci	690 pci	800 pci	710 pci	840 pci
340 pci	10.0 cm	14.0 cm	-	-	-	-
430 pci	-	-	11.0 cm	15.0 cm	-	-
500 pci	-	-	-	-	<10.0 cm	11.5 cm

**Tabla 4.7: Dimensionamiento de losa requerida en sección Manolo's - San Ramón, sección para base estabilizada con cemento; criterios de diseño originales, al 85% de confianza.**

Tramo	E.Eq.	D losa (in)	Pt	k (pci)	Sc (psi)	Cd	J	Ec (psi)	R (%)	Zr	So	ZrSo	log (E.Eq) (")	log (W18) (")	D (in)	D (cm)	diferencia (")
3	2.36E+07	10.2	2.5	490	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	10.2	26.0	-4.26E-06
3	2.36E+07	10.1	2.5	600	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	10.1	25.6	-1.27E-05
3	2.36E+07	10.0	2.5	620	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	10.0	25.5	-1.36E-04
3	2.36E+07	10.1	2.5	590	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	10.1	25.6	-3.35E-05
3	2.36E+07	10.0	2.5	670	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	10.0	25.3	-8.23E-05
3	2.36E+07	9.9	2.5	690	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	9.9	25.2	-4.38E-05
3	2.36E+07	9.9	2.5	750	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	9.9	25.1	-1.95E-04
3	2.36E+07	9.8	2.5	800	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	9.8	24.9	-1.21E-04
3	2.36E+07	9.9	2.5	710	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	9.9	25.2	-6.25E-05
3	2.36E+07	9.8	2.5	840	650	1.0	3.20	4.00E+06	85	1.036	0.3	0.311	7.373	7.373	9.8	24.8	-3.33E-05

**Tabla 4.8: Determinación de espesor de base estabilizada con cemento BE-35 requerida para condiciones de diseño con nivel de confianza del 85%, Tramo Aeropuerto - Manolo's**

CAPAS	Espesor		Módulos Resilientes (psi)			
	cm	pulg	20000	25000	20000	25000
BG	17	6.7	12000	18000	12000	18000
SB	21	8.3	6000	6000	8000	8000
SR	-	-				

$h_{eq}$ (pulg)	13.7	14.1	13.7	14.1
$k_{base\ eq}$ (pci)	440	450	560	580
$MR_{sub-ras\ eq}$ (psi)	8272	8460	10528	10904
$k_{BE}$ (pci)	1400	1400	1400	1400
$h_{BE}$ (pulg)	13.5	12.5	9	8
$h_{BE}$ (cm)	34.3	31.8	22.9	20.3

$h_{eq}$ : espesor equivalente en la capa de apoyo de la base estabilizada

$k_{base\ eq}$ : módulo de reacción en capa de apoyo para la base estabilizada.

$MR_{sub-ras\ eq}$ : módulo resiliente equivalente para la estructura de apoyo para la base estabilizada.

$h_{BE}$ : espesor equivalente para la base estabilizada con cemento BE-35.

$k_{BE}$ : módulo de reacción equivalente en la capa de apoyo de la losa de concreto hidráulico.

**Tabla 4.9: Determinación de espesor de base estabilizada con cemento BE-35 requerida para condiciones de diseño con nivel de confianza del 85%, Tramo Manolo's - San Ramón, sección donde no se ha colocado la base base estabilizada con cemento.**

CAPAS	Espesor		Módulos Resilientes (psi)			
	cm	pulg	20000	25000	20000	25000
BG	19	7.5	20000	25000	20000	25000
SB	21	8.3	12000	18000	12000	18000
SR	-	-	6000	6000	8000	8000

$h_{11q}$ (pulg)	14.5	14.9	14.5	14.9
$k_{base\ eq}$ (pci)	450	460	600	620
$MR_{sub-ras\ eq}$ (psi)	8460	8648	11280	11656
$k_{BE}$ (pci)	1400	1400	1400	1400
$h_{BE}$ (pulg)	14	13	10	9
$h_{BE}$ (cm)	35.6	33.0	25.4	22.9

$h_{eq}$  : espesor equivalente en la capa de apoyo de la base estabilizada

$k_{base\ eq}$  : módulo de reacción en capa de apoyo para la base estabilizada.

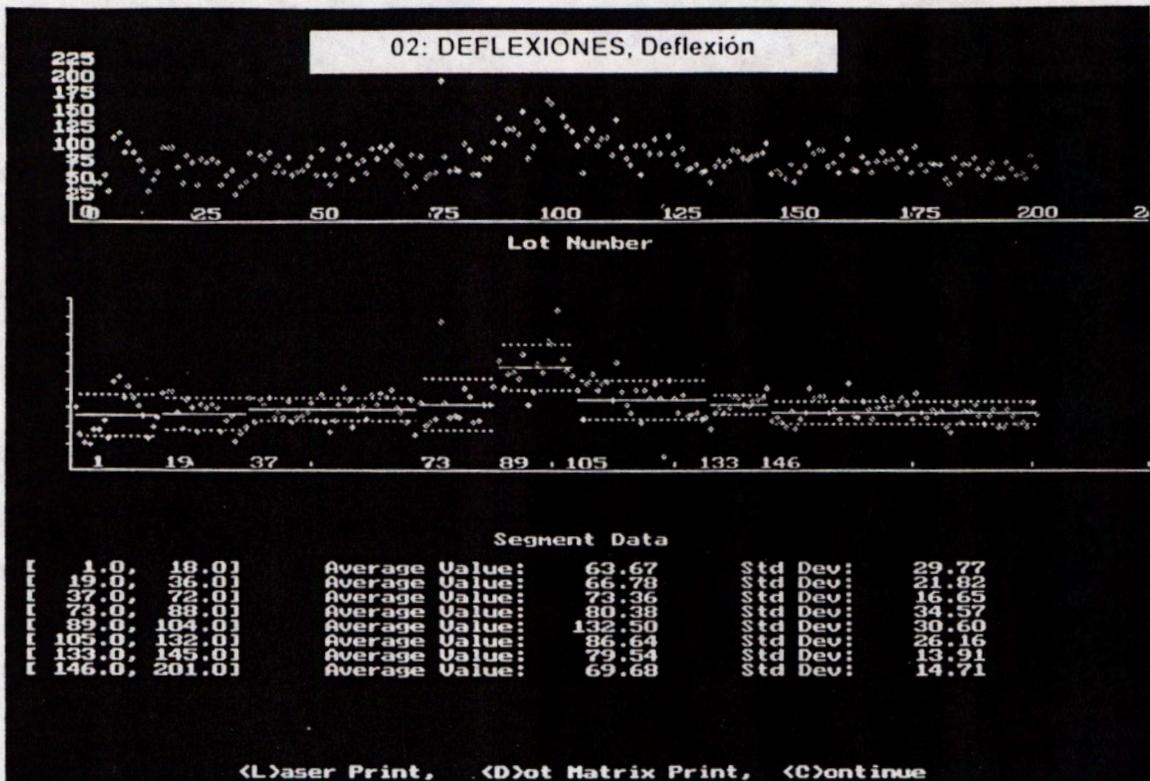
$MR_{sub-ras\ eq}$  : módulo resiliente equivalente para la estructura de apoyo para la base estabilizada.

$h_{BE}$  : espesor equivalente para la base estabilizada con cemento BE-35.

$k_{BE}$  : módulo de reacción equivalente en la capa de apoyo de la losa de concreto hidráulico.

**ANEXOS**

Datos del 1 al 201



Datos del 201 399

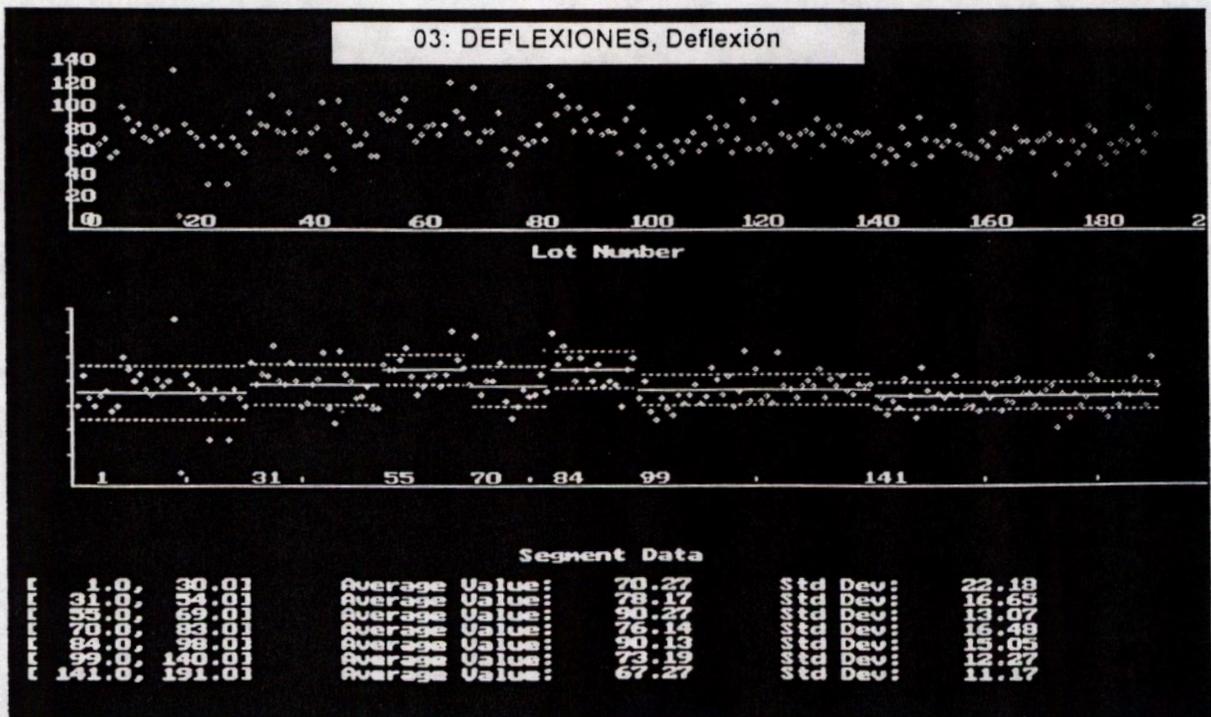
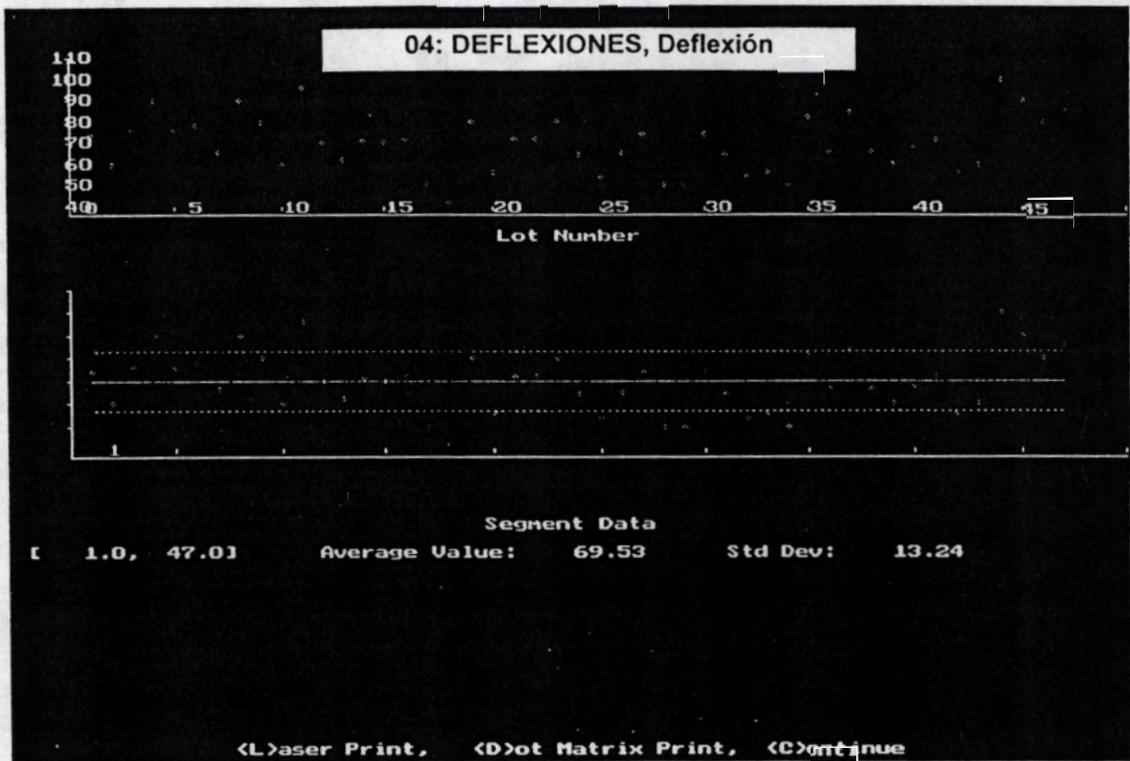


Figura No. A-1: Definición de secciones homogéneas a partir de análisis de deflectometría

Traslape entre gráficos 1 y 2



**Figura No. A-1: Definición de secciones homogéneas a partir de análisis de deflectometría (continuación)**

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

**Autopista Bernardo Soto**

PESO DEL EJE : 8200 Kg  
 PRECISION DEL MICROMETRO : 0.01mm  
 MEDICIONES CADA 100 METROS  
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: San Ramón - Aeropuerto  
 SENTIDO: San Ramón - Aeropuerto  
 RUTA No. 1  
 CARRIL: Derecho  
 FECHA: 29-Aug-00

PUNTO N <sup>o</sup>	ESTACIÓN	DEFLEXION mm*10 <sup>-2</sup>	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
1	41+ 406	76	39	29
2		38	39	29
3		26	39	29
4		24	39	29
5		24	38	29
6	41+ 040	44	38	29
7		44	38	29
8		58	38	29
9		34	37	29
10		112	37	29
11		122	37	29
12	40+ 400	118	37	29
13		90	37	29
14		104	36	29
15		90	36	29
16		78	36	29
17	39+ 900	64	36	29
18		34	36	29
19		50	36	29
20		62	36	29
21		96	36	29
22	39+ 450	98	35	29
23		68	35	28
24		46	35	28
25	39+ 150 Puente Río Grande	86	35	28
26		76	35	28
27		42	35	28
28	38+ 818	80	35	28
28		76	35	28
29		42	35	28
30		68	34	28
31	38+ 418	112	34	28
32		58	34	28
33		64	34	28
34	38+ 118	58	34	28
35		40	34	28
36		48	34	28
37	37+ 818	90	34	28
38		56	34	28

39		86	33	28
40	37+ 490	80	33	27
41	37+ 390	90	33	27
42		62	33	27
43		70	33	27
44		62	33	27
45		84	33	27
46		56	33	27
47		62	33	27
48		84	32	27
49		70	32	27
50		82	32	27
51		48	32	27
52		94	32	27
53	36+ 080	56	32	27
54		56	32	27
55		46	32	27
56	35+ 750	58	32	27
57		80	32	27
58		102	31	27
59	35+ 450	86	31	27
60		50	31	27
61		74	31	27
62	35+ 250 Trabajos de bacheo	78	31	27
63	35+ 450	60	31	27
64		94	31	27
65	34+ 750	80	31	27
66		96	31	27
67		92	31	27
68	34+ 400	100	31	26
69		76	31	26
70		70	31	26
71		56	31	26
72		86	31	26
73		38	31	26
74	30+ 800	82	31	26
75		52	31	26
76		56	31	26
77		60	31	26
78		94	31	26
79	33+ 280	92	31	26
80		62	37	26
81	33+ 080	64	37	26
82		62	37	26
83		102	38	26
84		92	38	26
85	32+ 620	56	38	27
86		58	39	27
87	32+ 420 Fin sección homogénea	80	39	27
88		80	39	27
89	32+ 220 Después puente Rio Grande	108	39	28
90	32+ 120	140	40	28
91		102	40	28
92		122	40	28
93		124	40	29

94	31+ 720	116	41	29
95		150	41	29
96		80	41	29
97		98	41	30
98	31+ 300	136	41	30
99		124	42	30
100		166	42	30
101		162	42	30
102		210	42	30
103		142	42	31
104	30+ 700	128	42	31
105		120	42	31
106		100	43	31
107		60	43	31
108	30+ 290 Fin sección homogénea	110	43	31
109		122	43	31
110	30+ 090	100	43	31
111	29+ 990	110	43	31
112		112	43	32
113		86	43	32
114		138	43	32
115	29+ 590	98	43	32
116		80	43	32
117	29+ 390	70	42	32
118		100	42	32
119	29+ 142	56	42	32
120		100	42	32
121		88	42	32
122		110	42	32
123	28+ 742	88	42	33
124		80	42	33
125		114	42	33
126		88	42	33
127		70	42	33
128		94	42	33
129	28+ 113 Fin sección homogénea	64	42	33
130		66	42	33
131		70	42	33
132		60	36	29
133		62	36	29
134		76	36	29
135		68	36	29
136		76	36	29
137		92	36	29
138		90	36	30
139	27+ 083 Cruce Naranja	80	36	30
140		78	36	30
141		84	36	30
142		86	36	30
143		96	36	30
144	26+ 574	102	36	30
145		58	36	30
146		62	36	30
147		56	36	30
148		50	36	30

149	26+ 047	72	36	30
150		66	36	30
151		60	36	30
152		68	36	31
153		102	36	31
154		88	36	31
155		92	36	31
156		92	36	31
157		68	36	31
158		74	36	31
159		60	36	31
160		86	36	31
161		110	36	31
162		64	36	32
163		62	36	32
164	24+ 475	84	37	32
165		74	37	32
166		60	37	32
167		76	37	32
168		90	37	32
169	23+ 970	96	37	32
170		78	37	32
171		66	37	32
172		90	37	32
173		80	37	32
174		60	37	32
175		96	37	32
176		70	37	32
177		62	37	32
178		74	37	33
179	22+ 925	70	38	33
180	Peaje	72	38	33
181		50	38	33
182		42	38	33
183		80	38	33
184		56	38	33
185		72	38	33
186		72	38	33
187		80	38	33
188		64	38	33
189		54	38	33
190	21+ 780	64	38	33
191		74	38	33
192		50	38	33
193		50	38	33
194		74	39	33
195		64	39	33
196		54	39	33
197		56	39	33
198		50	39	33
199		82	39	33
200		60	39	33
201		84	39	33
202		66	39	33
203		60	39	33

204		68	39	33
205		72	38	33
206		86	38	33
207		60	38	33
208		100	38	33
209	19+ 820	40	38	33
210		80	38	33
211		86	38	33
212		74	38	33
213		70	28	24
214		82	28	24
215	Después puente Rafael Iglesias	76	28	24
216		80	28	24
217	18+ 780	132	28	24
218		104	28	24
219		86	28	24
220	18+ 340	78	28	25
221		74	28	25
222		66	28	25
223		32	29	25
224		78	29	25
225		74	29	25
226		66	29	25
227		60	29	25
228		96	29	26
229		78	29	26
230		86	29	26
231		84	29	26
232		110	37	30
233		80	29	27
234		78	30	27
235		96	30	27
236		80	30	27
237	16+ 720	60	30	27
238		62	30	27
239		78	30	27
240		82	30	27
241		104	30	27
242		58	30	27
243		86	30	27
244		106	30	28
245	Después puente Río Rosales	86	30	28
246	15+ 700	80	30	28
247		66	30	28
248		68	30	28
249		76	30	28
250		58	30	28
251	15+ 140 Inicio sección homogénea	76	30	28
252		102	30	28
253		78	30	28
254		94	31	28
255		96	31	28
256		90	31	28
257		98	31	29
258		108	31	29

259		84	31	29
260		70	31	29
261		76	31	29
262		84	31	29
263		86	31	29
264		76	32	29
265		86	32	30
266		122	32	30
267		98	32	30
268		92	32	30
269	13+ 340	78	32	30
270		66	32	30
271		136	32	30
272		118	32	30
273		70	33	30
274		80	33	30
275		80	33	30
276		96	33	30
277		68	33	30
278		50	33	30
279		60	33	30
280		74	34	28
281		68	34	28
282	Después Puente Río Poás	70	34	28
283		86	35	28
284		72	34	28
285	11+ 500	120	34	28
286		94	35	28
287		110	36	28
288		100	36	28
289		80	36	29
290		100	37	29
291		90	37	29
292		80	37	29
293		94	37	29
294		76	38	29
295	10+ 560 Inicio sección homogénea	80	38	29
296		78	38	29
297		60	39	30
298		90	39	30
299	Manolo's	100	39	30
300		70	35	27
301		80	40	33
302		56	40	33
303		48	40	33
304		66	40	33
305		58	40	33
306		52	40	33
307	Después de puente	70	40	33
308		62	40	33
309		70	40	33
310		78	40	33
311		62	40	33
312		68	40	33
313		96	40	33

314		82	40	33
315	8+ 400	70	40	33
316		84	40	33
317		60	40	33
318		72	40	33
319		106	40	33
320		64	40	33
321		90	40	33
322		64	40	33
323		68	40	33
324		62	40	33
325		104	40	33
326		76	40	33
327		74	40	34
328	Después puente El Coyol	66	40	34
329		76	40	34
330		80	40	34
331		76	40	34
332		90	40	34
333		66	40	34
334	6+ 340	82	40	34
335		84	40	34
336		76	40	34
337	6+ 750	84	40	34
338		72	40	34
339		70	40	34
340		78	40	34
341		76	40	34
342		78	40	34
343		58	40	34
344		66	40	34
345		52	40	34
346		64	40	34
347		58	40	34
348		82	40	34
349		68	40	34
350		50	40	34
351		92	40	34
352		72	40	34
353		58	40	34
354		70	40	34
355		66	40	34
356		70	40	34
357		84	40	34
358		68	40	34
359		60	40	34
360		52	40	34
361		56	40	34
362		70	40	34
363		66	40	34
364	3+ 350	78	40	34
365		56	40	34
366		64	40	34
367		62	40	34
368		82	40	34

369		76	40	34
370		70	40	34
371		60	40	34
372		70	40	34
373		72	40	34
374		76	40	34
375	2+ 200	42	40	34
376		70	40	34
377		50	40	34
378		70	40	34
379		60	40	34
380		66	40	34
381		84	40	34
382		80	40	34
383		52	40	34
384		50	40	34
385		68	40	34
386		60	40	34
387		70	40	34
388		68	40	34
389		82	40	34
390		70	40	34
391		60	40	34
392		100	40	34
393	1+ 321	76	40	34

