



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

**PROYECTO**  
**BARRANCA-ARIZONA**

---

***DIAGNOSTICO Y***  
***PROPUESTA DE SOLUCIONES***

**VOLUMEN I**

---

***Febrero 2000***

## COMENTARIOS GENERALES

1. Los daños que presenta el pavimento califican como deterioros prematuros.
2. La calidad de la mezcla asfáltica es la principal responsable de las manifestaciones de deterioro observado.
3. Se presentan los siguientes tipos de deterioros, así como algunos problemas geotécnicos y de seguridad:
  - Fisuras
  - Grietas
  - Desprendimiento de partículas
  - Baches
  - Roderas
  - Falla de taludes de terraplén
  - Algunos problemas de drenajes y alcantarillas
  - Pavimento liso (derrapante)
  - Falta de vallas laterales de protección en terraplenes de mucha altura, con el agravante de que prácticamente no existe espaldón.
4. La mezcla asfáltica presenta alta susceptibilidad al efecto del agua (hay desprendimientos y agrietamientos causados por tal situación).
5. Se observó falta de uniformidad (alta dispersión) del proceso constructivo, así como desviación del diseño de mezcla.
6. Se constataron altos índices de incumplimiento de las especificaciones de los parámetros de calidad.
7. Si solamente se reparara la capa asfáltica existente, ésta sería una solución de corto plazo, ya que en poco tiempo se presentarían agrietamientos, debido al fenómeno de propagación de grietas desde la capa asfáltica inferior.
8. Readecuar estructuralmente el pavimento implica la readecuación de la calidad de la mezcla asfáltica existente en los últimos 6.0 cm, así como incrementar el espesor de la capa. Este incremento es variable, dependiendo del tramo, y oscila entre 2.5 y 7.5 cm.
9. El nivel de cargas (camiones) en la vía, y el factor clima, hacen que sea conveniente utilizar un asfalto modificado con polímero (PG-76), en la rehabilitación del pavimento.
10. En 34 puntos de la vía se detectaron problemas de estabilidad lateral del terraplén.
11. Se requiere hacer trabajos de reparación de alcantarillas y drenajes.



**PARTE 1**

**DIAGNOSTICO**

# INDICE

## PARTE 1: DIAGNOSTICO

### CONTENIDO

1.	Introducción .....	1.1
2.	Evaluación visual .....	2.1
2.1	Metodología .....	2.1
2.2	Síntesis de resultados .....	2.3
2.2.1	Patrón general de deterioro .....	2.3
2.2.2	Patrones de deterioro por carril .....	2.9
2.2.3	Manifestaciones de deterioro según diseño de mezcla reportado .....	2.10
2.2.4	Comentarios finales .....	2.16
3.	Análisis deflectométrico .....	3.1
3.1	Aspectos generales .....	3.1
3.2	Tablas de resultados .....	3.2
3.3	Análisis de tramos homogéneos .....	3.16
4.	Sondeos a cielo abierto .....	4.1
5.	Análisis de tránsito .....	5.1
6.	Análisis estructural del pavimento existente .....	6.1
6.1	Análisis deflectométrico .....	6.1
6.2	Sondeos a cielo abierto y análisis de laboratorio .....	6.4
6.3	Retrocálculo de módulos .....	6.4
6.4	Análisis de fatiga en el pavimento existente .....	6.6
6.5	Conclusiones .....	6.8
7.	Análisis de los resultados del control de calidad: síntesis y comentarios.....	7.1
7.1	Criterios de tolerancia y especificación .....	7.1
7.2	Cumplimiento de rangos de especificación y tolerancia .....	7.2
7.2.1	Cumplimiento de rangos de especificación y tolerancia para el diseño de mezcla con agregados del Río Seco y Caldera (Diseños A y C) .....	7.3
7.2.2	Cumplimiento de rangos de especificación y tolerancia para el diseño de mezcla con agregados del Río Barranca (Diseño B) .....	7.4
7.3	Evaluación del nivel de dispersión en los parámetros de calidad .....	7.5
7.4	Correspondencia entre los promedios de la producción y el valor de diseño .....	7.7
7.4.1	Correspondencia producción / diseño de mezcla para la mezcla con agregado del Río Seco y Caldera (Diseños A y C) .....	7.8
7.4.2	Correspondencia producción / diseño de mezcla para la mezcla con agregados del Río Barranca (Diseños B) .....	7.8
7.5	Conclusiones .....	7.9
8.	Evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica en la condición actual .....	8.1
8.1	Ensayos de campo.....	8.1
8.1.1	Compactación en sitio .....	8.1
8.1.2	Textura superficial .....	8.4
8.2	Extracciones de ligante asfáltico .....	8.5
8.2.1	Resultados de contenido de asfalto .....	8.8

8.2.2	Resultados de la granulometría residual .....	8.8
8.2.3	Parámetro de polvo-asfalto .....	8.9
8.2.4	Parámetros evaluados en el agregado residual .....	8.9
8.3	Parámetros Marshall de la mezcla asfáltica .....	8.10
8.4	Características del ligante asfáltico recuperado .....	8.14
8.4.1	Consistencia .....	8.16
8.4.2	Evaluación de susceptibilidad al envejecimiento para el ligante asfáltico recuperado .....	8.17
8.4.3	Módulo de deformabilidad para el grado de desempeño .....	8.18
8.5	Durabilidad de la mezcla asfáltica .....	9.20
8.6	Correlación entre las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica, vacíos en sitio y condiciones del ligante asfáltico recuperado .....	8.24
8.7	Comentarios finales .....	8.26

## **PARTE 2: PROPUESTA DE SOLUCIONES**

### **CONTENIDO**

1.	Readecuación estructural del pavimento existente .....	1.1
1.1	Antecedentes técnicos .....	1.1
1.2	Opciones de rehabilitación.....	1.2
1.3	Conclusiones .....	1.15
1.3.1	Resultados de estudio comparativo entre opciones de rehabilitación planteadas.....	1.15
1.3.2	Síntesis de conclusiones .....	1.16
2.	Propuesta de soluciones a los problemas geotécnicos de la vía .....	2.1

# 1. Introducción

El presente estudio consta de dos partes principales, en la primera se realiza un diagnóstico del pavimento existente y en la segunda se proponen soluciones específicas para la readecuación estructural del pavimento y para los problemas geotécnicos de la vía.

El diagnóstico comprende los siguientes aspectos:

- Una evaluación visual del pavimento
- El análisis deflectométrico de la vía
- La ejecución de sondeos a cielo abierto
- Un análisis de las cargas inducidas por el tránsito vehicular
- El análisis de la capacidad estructural del pavimento existente y su correlación con los patrones de deterioro observado
- El análisis de los resultados del control de calidad durante el período de ejecución del proyecto
- Finalmente, un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de mezcla asfáltica extraída en los sondeos realizados.

A partir del diagnóstico se deducen las causas que explican el comportamiento del pavimento, según los patrones de deterioro observados.

Posteriormente, y con base en dichos análisis se proponen las opciones para la readecuación del pavimento.

**Capítulo 2**

**Evaluación visual**

## 2. Evaluación Visual

### 2.1 Metodología

Para determinar la condición de deterioro superficial del pavimento se procedió de la siguiente manera:

- Se realizó una evaluación continua, separadamente para el carril izquierdo y para el derecho, para esto se midieron visualmente los parámetros de deterioro superficial en secciones de 100 metros, de forma consecutiva, con una separación de 200 metros entre secciones, por lo tanto las mediciones realizadas corresponden al 33.3% del total de la superficie del pavimento.

Esta evaluación se realizó en el mes de julio de 1999.

- Para determinar el patrón y tipo de deterioro del pavimento, se tomaron en consideración los siguientes parámetros de calidad:

i- **Agrietamiento:** se midió tanto la magnitud como el porcentaje del área agrietada, la severidad de agrietamiento se clasificó en las siguientes categorías:

- Sin agrietamiento
- Muy leve
- Leve
- Moderado
- Severo

ii- **Condición de pulimento superficial:** en cada sección (y carril) de 100 metros se determinó la condición de la textura superficial prevaleciente en el pavimento, y se calificó conforme a las siguientes categorías:

- Muy liso
- Liso
- Rugosidad media
- Rugoso
- Muy rugoso

Adicionalmente, en los 14 puntos donde se tomaron muestras para análisis en el laboratorio, se hicieron mediciones de la textura por medio del ensayo de la Mancha de Arena.

iii- **Desprendimiento superficial de agregados:** esta evaluación se hizo determinando el porcentaje de área correspondiente a cada una de las siguientes categorías, según severidad:

- Sin desprendimiento
- Muy leve
- Leve
- Moderado
- Severo
- Muy severo

Aquellas zonas que habían presentado desprendimiento muy severo, pero al momento de la evaluación ya habían sido recubiertas con baches, no se sumaron como área de desprendimiento y se consideraron como áreas de bacheo.

- iv- **Deformaciones tipo rodera:** en cada una de las secciones se midió la profundidad de las roderas, éstas se clasificaron en las siguientes categorías:
- Sin roderas
  - Muy leve
  - Leve
  - Media
  - Severa

Esta determinación también se hizo separadamente para cada carril.

- v- **Bacheo:** en cada una de las secciones de 100 metros y separadamente para cada carril se determinó el porcentaje del área que había sido reparada por medio de baches.

A continuación se presenta una síntesis de los principales resultados obtenidos en esta evaluación visual.

## 2.2 Síntesis de Resultados

En las tablas y gráficos siguientes se sintetizan los resultados de este análisis visual, correspondiente al nivel de deterioro que presentaba el pavimento a julio de 1999.

### 2.2.1 Patrón general de deterioro:

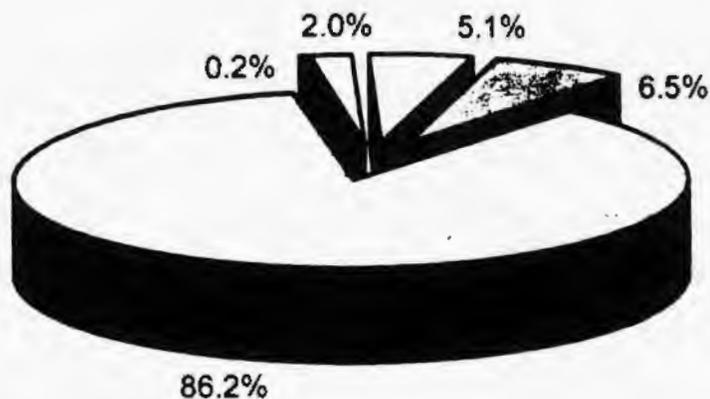
Corresponde a los valores obtenidos de los patrones de deterioro, para todo el proyecto, separados según carril derecho e izquierdo. Estos resultados se presentan gráficamente en las figuras No.1a a la No.1j y se sintetizan en la siguiente tabla general para todo el proyecto:

Tabla No. 2.1 Patrón general de deterioro en cada uno de los carriles (Julio de 1999).

CARRIL		PARAMETROS DE DETERIORO					
		<b>AGRIETAMIENTO</b>					
		Sin agrietamiento	Muy leve	Leve	Moderado	Severo	
DERECHO	% Area	86.2	0.2	2.0	5.1	6.5	
IZQUIERDO	% Area	84.9	0.1	2.0	5.4	7.6	
		<b>DESPRENDIMIENTO</b>					
		Sin desprendimiento	Muy leve	Leve	Moderado	Severo	Muy severo
DERECHO	% Area	7.2	29.4	29.7	21.2	9.8	2.7
IZQUIERDO	% Area	3.6	36.8	30.3	18.5	10.4	0.5
		<b>TEXTURA</b>					
		Muy liso	Liso	Rug.media	Rugoso	Muy rugoso	
DERECHO	% Area	7.3	21.9	41.0	26.5	3.3	
IZQUIERDO	% Area	3.0	25.0	44.8	24.7	2.9	
		<b>RODERAS</b>					
		Sin roderas	Muy leve	Leve	Media	Severa	
DERECHO	% Area	8.5	34.4	28.7	19.4	8.9	
IZQUIERDO	% Area	8.6	45.5	18.5	17.5	9.8	
		<b>BACHEO</b>					
		Sin baches	Con baches				
DERECHO	% Area	96.4	3.6				
IZQUIERDO	% Area	96.8	3.2				

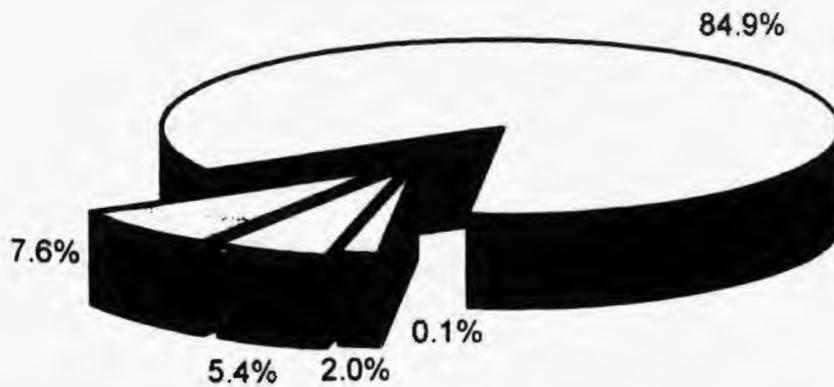
## Figura 2.1. Deterioro por agrietamiento en cada carril

### Figura No.2.1a Agrietamiento en el carril derecho



Sin agrietamiento   
  muy leve   
  leve   
  moderado   
  severo

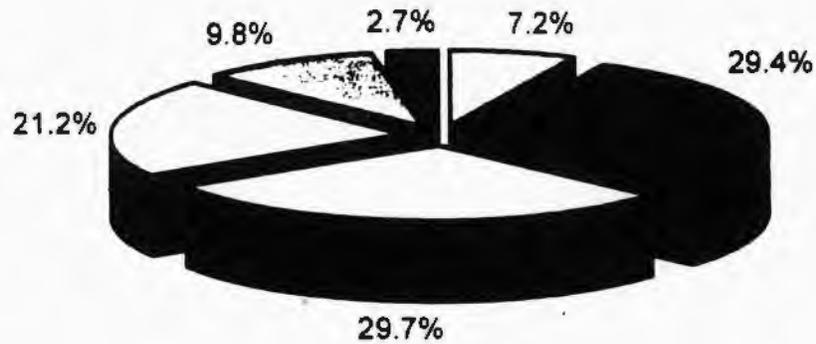
### Figura No.2.1b Agrietamiento en el carril izquierdo



Sin agrietamiento   
  muy leve   
  leve   
  moderado   
  severo

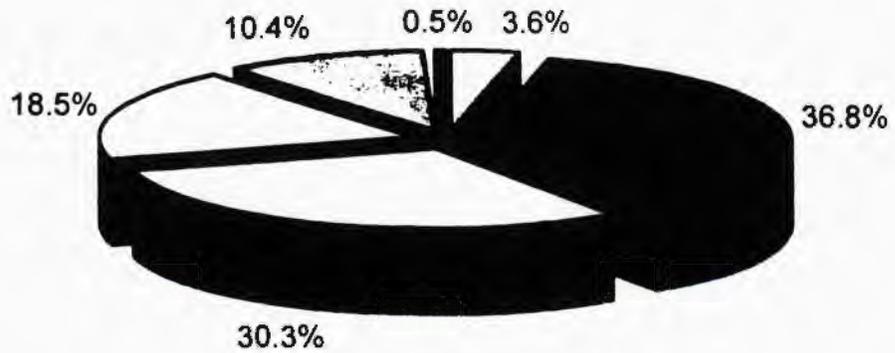
Figura 2.1. Deterioro por desprendimiento en cada carril

Figura No.2.1c Desprendimiento en el carril derecho



□ Sin desprendimiento ■ muy leve □ leve □ moderado □ severo ■ muy severo

Figura No.2.1d Desprendimiento en el carril izquierdo



□ Sin desprendimiento ■ muy leve □ leve □ moderado □ severo ■ muy severo

Figura 2.1. Condición de textura en cada carril

Figura No.2.1e Textura en el carril derecho

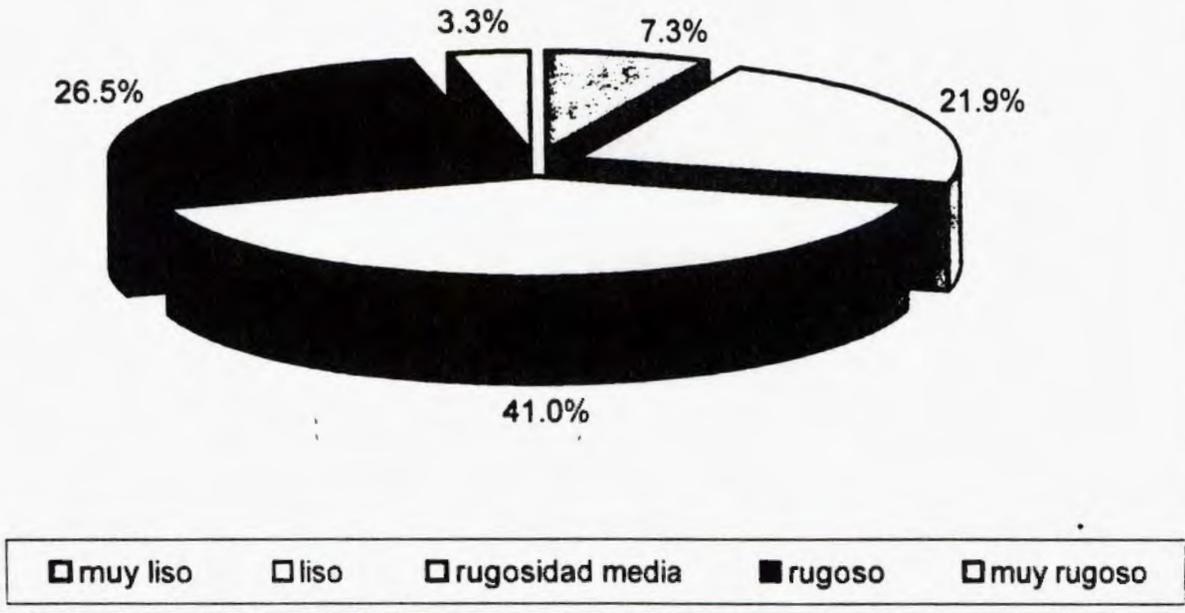


Figura No.2.1f Textura en el carril izquierdo

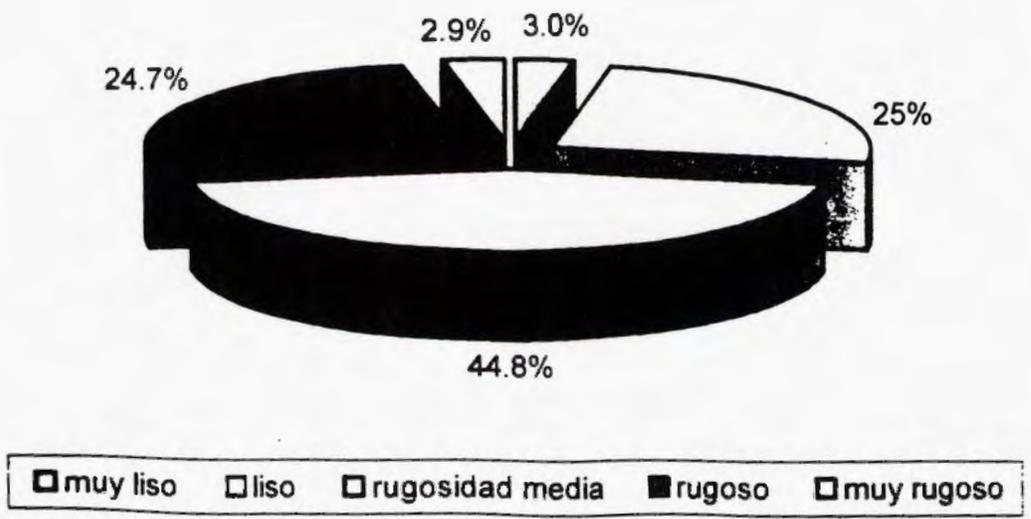


Figura 2.1. Deformación por roderas en cada carril

Figura No.2.1g Roderas en el carril derecho

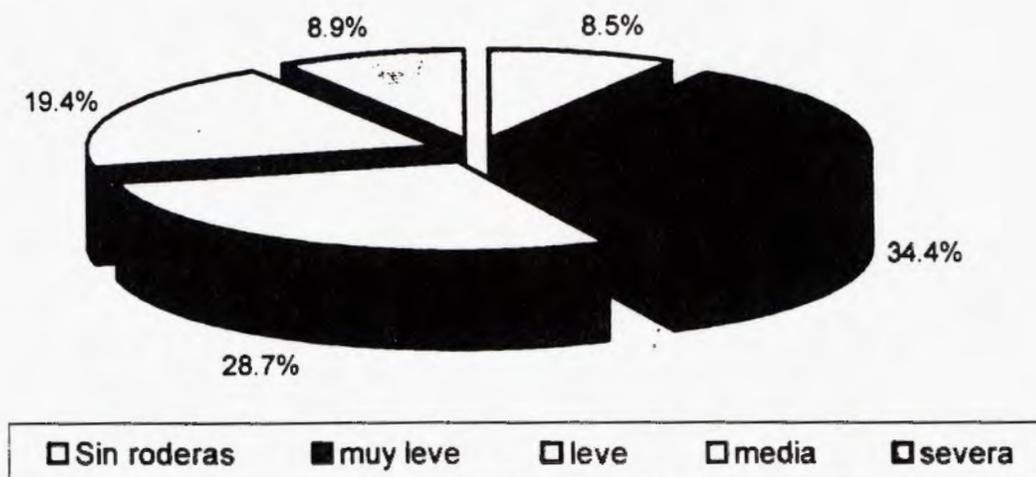
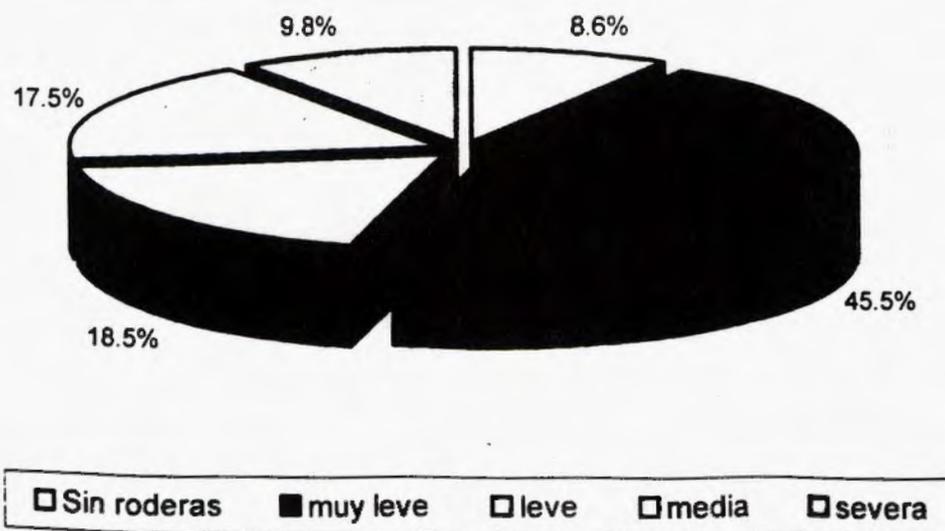
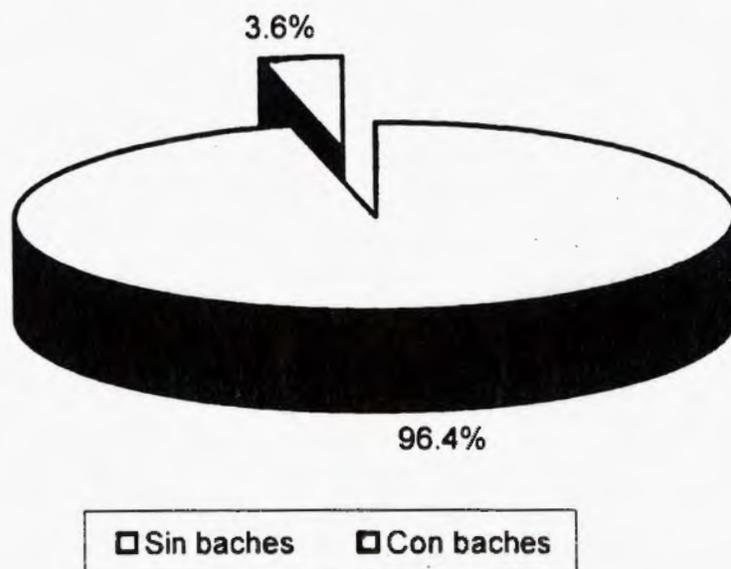
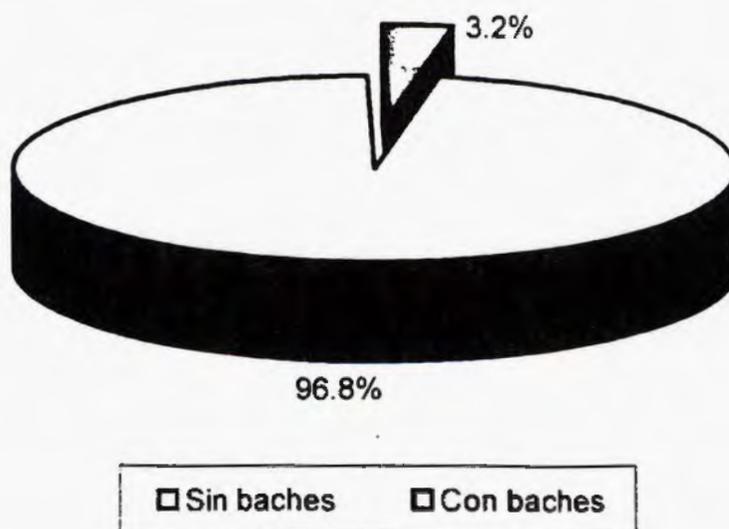


Figura No.2.1h Roderas en el carril izquierdo



**Figura 2.1. Areas de bacheo en cada carril****Figura No.2.1i Bacheo en el carril derecho****Figura No.2.1j Bacheo en el carril izquierdo**

## 2.2.2 Patrones de deterioro por carril:

En general, el carril derecho presenta un 11.6% del área con agrietamiento severo o moderado, y en el carril izquierdo dicha condición representa el 13.0%.

Desde el punto de vista de desprendimiento de agregados, el carril derecho presenta un 12.5% del área en condición de desprendimiento severo o muy severo, con un 3.6% del área bacheada, y en el carril izquierdo un 10.9% del área presenta dicha condición, con un 3.2% del área bacheada. O sea que en términos generales, si se incluye el bacheo del orden del 15% del pavimento muestra una condición de desprendimiento de partículas entre severo y muy severo.

Con respecto a la textura superficial, en el carril derecho un 30.2% de las secciones observadas presentan una condición de textura entre lisa y muy lisa, y en el izquierdo un 28% manifiesta esa misma condición de deterioro.

En cuanto a las deformaciones tipo rodera se observa que en el carril derecho el 28.3% de los tramos presenta roderas entre media y severa, mientras que en el otro carril tal condición corresponde al 27.3% de los tramos.

En síntesis, el orden de magnitud del daño observado en conjunto para ambos carriles, es:

▪ Agrietamiento severo a moderado:	12.3%	del área total
▪ Desprendimiento severo a muy severo:	11.7%	del área total
▪ Area bacheada:	3.4%	del área total
▪ Roderas de media a severa:	27.8%	de las secciones evaluadas
▪ Textura superficial de lisa a muy lisa	29.1%	de las secciones evaluadas

En las figuras siguientes se presentan de forma gráfica estos resultados.

## 2.2.3 Manifestaciones de deterioro superficial según diseño de mezcla reportado

En las tablas y gráficos siguientes se agrupan los resultados de la evaluación visual, separadamente para cada uno de los diseños de mezcla que se reportan, dichos diseños de mezcla se ubican en la capa de rodamiento en los siguientes tramos:

- **DISEÑO B:** de Est. 0+000 a 5+300
- **DISEÑO A:** de Est. 5+300 a 37+400
- **DISEÑO C:** de Est. 37+400 a final del proyecto

Los resultados obtenidos se presentan separadamente para cada carril.

**Tabla No.2.2 Manifestaciones de deterioro superficial en el carril derecho según diseño de mezcla utilizado.**

ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	AGRIETAMIENTO (% Area)				
		Sin agnet.	muy leve	leve	moderado	severo
0+000 A 5+300	5.3	94.0	0.1	0.5	5.1	0.3
5+300 A 37+400	32.1	84.4	0.2	2.4	5.3	7.8
37+400 A 39+900	2.5	90.3	0.0	1.4	2.8	5.6

ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS (% Area)					BACHEO (% Area)	
		Sin desprend.	muy leve	leve	moderado	severo		
0+000 A 5+300	5.3	5.8	36.8	39.2	16.2	2.0	0.0	0.9
5+300 A 37+400	32.1	7.5	28.2	25.8	23.3	11.8	3.4	4.3
37+400 A 39+900	2.5	6.3	27.5	55.6	7.5	3.1	0.0	0.2

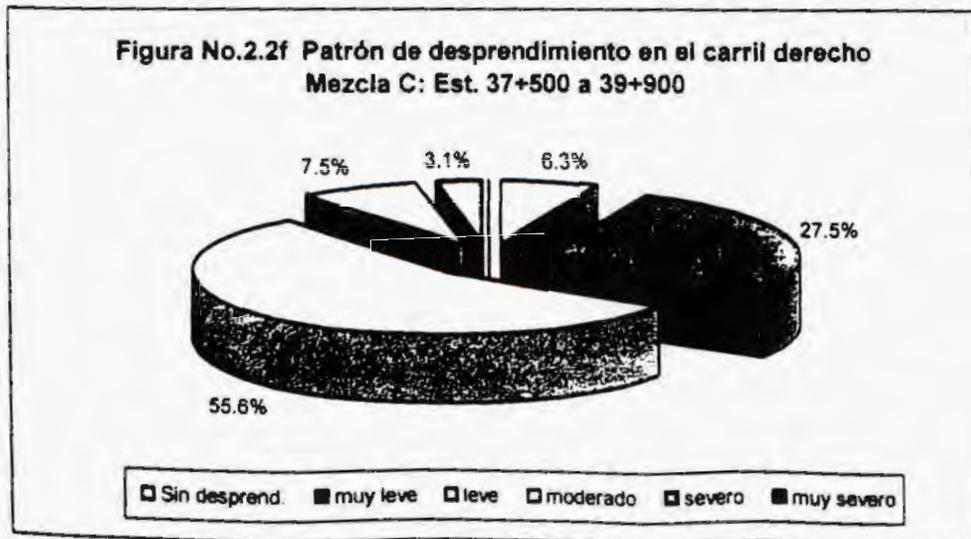
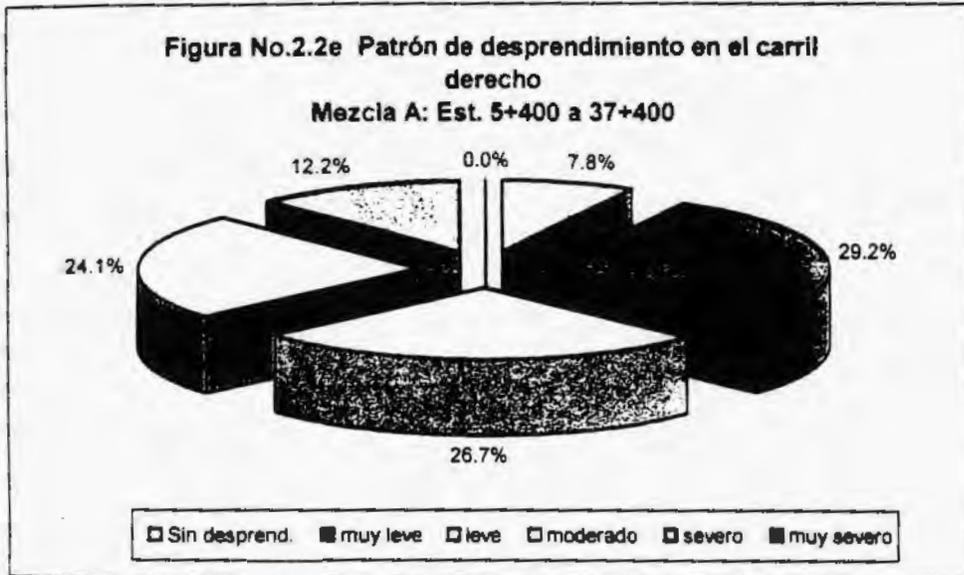
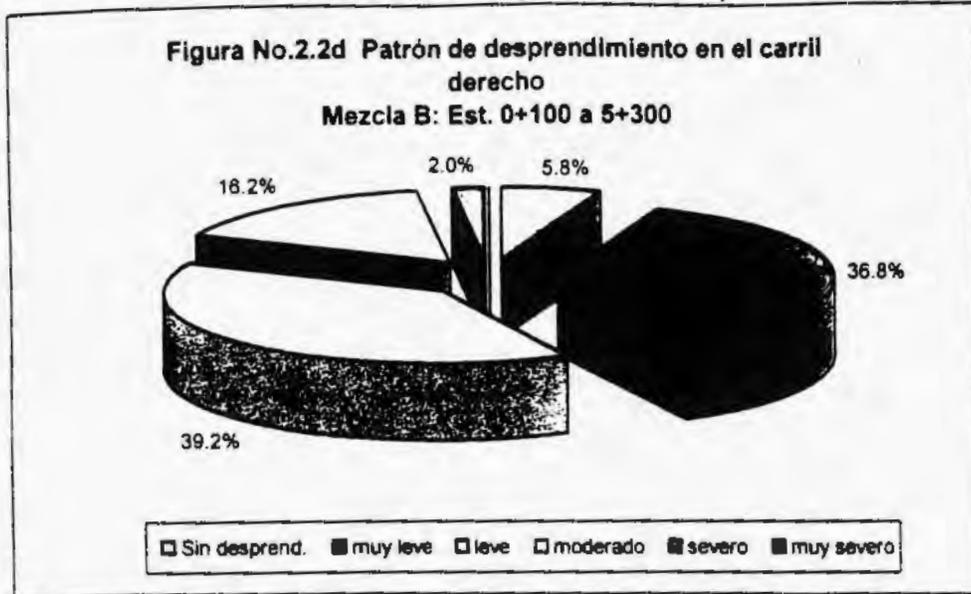
  

ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	TEXTURA (% de las secciones evaluadas)				
		muy liso	liso	rug. media	rugoso	muy rugoso
0+000 A 5+300	5.3	1.1	23.9	55.6	19.4	0.0
5+300 A 37+400	32.1	6.6	21.5	38.1	29.7	4.1
37+400 A 39+900	2.5	30.0	21.9	44.4	3.8	0.0

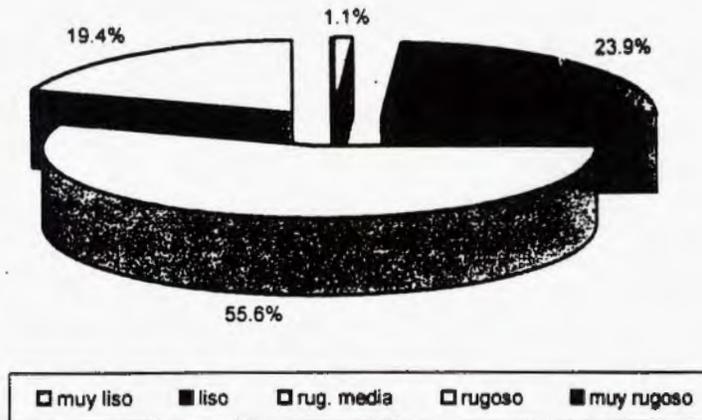
ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	RODERAS (% de las secciones evaluadas)				
		Sin roderas	muy leve	leve	media	severa
0+000 A 5+300	5.3	25.0	51.1	12.8	0.0	11.1
5+300 A 37+400	32.1	6.2	31.4	32.0	21.6	8.8
37+400 A 39+900	2.5	0.0	32.5	25.0	36.3	6.3

**Figura 2.2 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril derecho (continuación)**

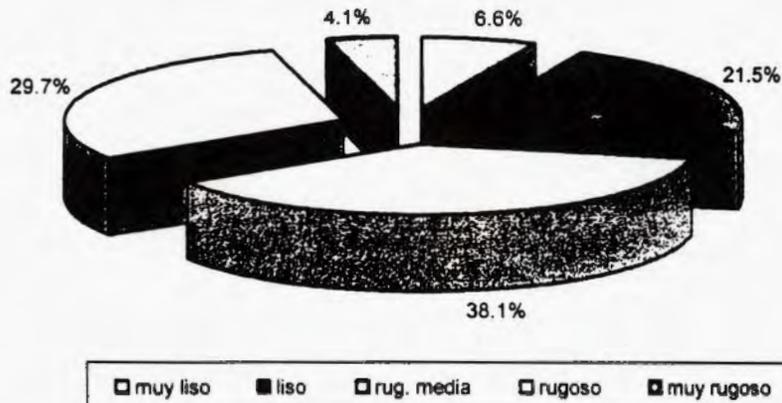


**Figura 2.2 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril derecho (continuación)**

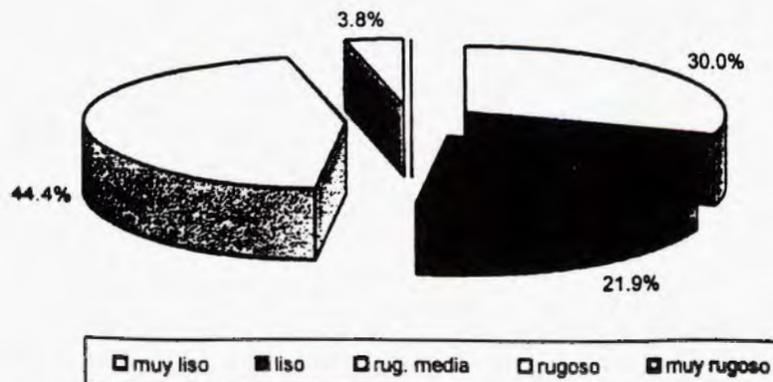
**Figura No.2.2g Patrón de textura en el carril derecho  
Mezcla B: Est. 0+100 a 5+300**



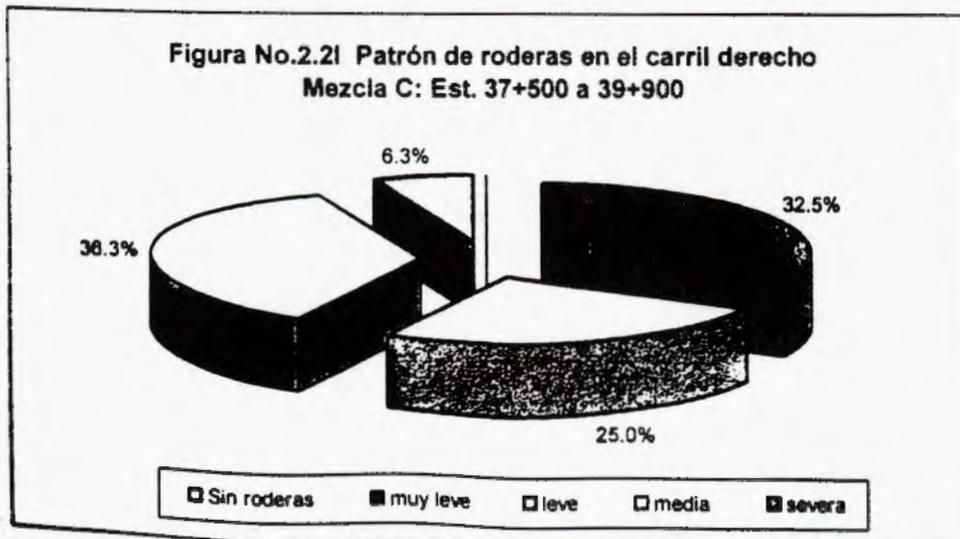
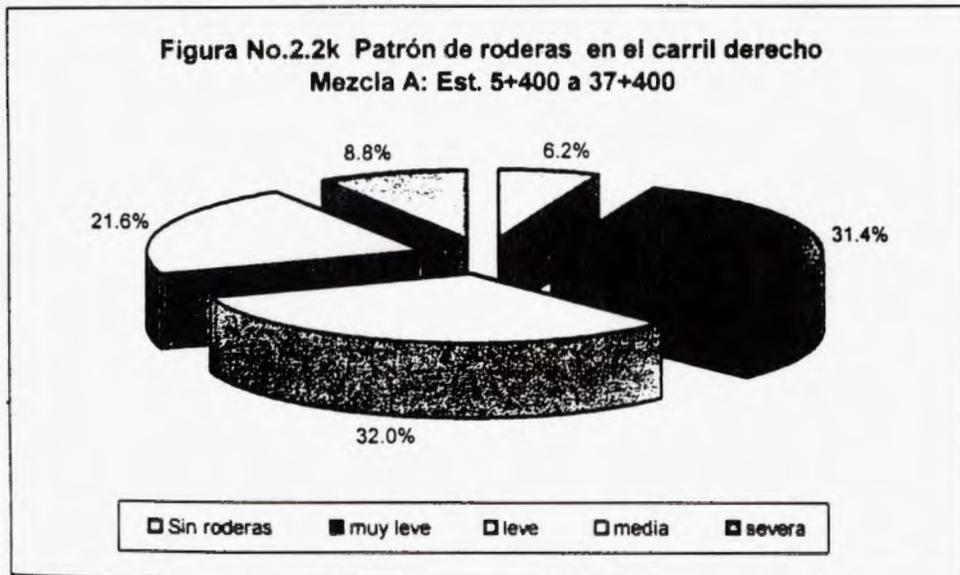
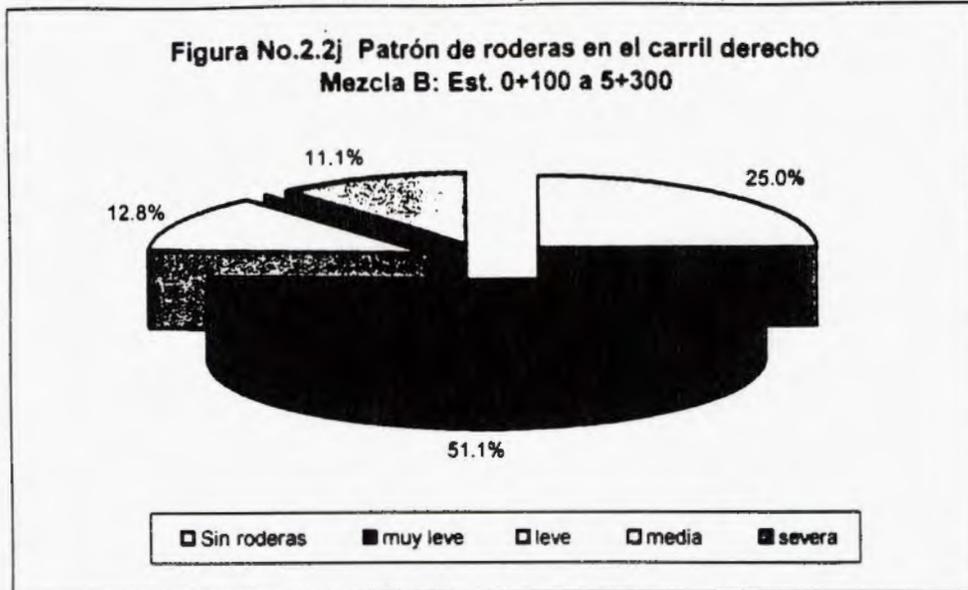
**Figura No.2.2h Patrón de textura en el carril derecho  
Mezcla A: Est. 5+400 a 37+400**



**Figura No.2.2i Patrón de textura en el carril derecho  
Mezcla C: Est. 37+500 a 39+900**



**Figura 2.2 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril derecho (continuación)**



En la tabla siguiente se sintetizan y ordenan los resultados obtenidos, para cada diseño de mezcla, ordenándolos de la mejor condición a la peor. Como puede observarse, la peor mezcla, desde el punto de vista de agrietamiento y desprendimiento es la que se identifica como mezcla A, mientras que, por deterioro tipo rodera la peor es la denominada como mezcla C. No obstante el peor comportamiento por textura lisa lo comparten en igual orden de magnitud la mezcla A y la C.

En síntesis, la mezcla que presentó mejor comportamiento general fue la mezcla B.

Parámetro de deterioro	CARRIL DERECHO		CARRIL IZQUIERDO	
	Diseño de Mezcla	Nivel de deterioro <sup>(1)</sup>	Diseño de Mezcla	Nivel de deterioro <sup>(1)</sup>
Arietamiento Moderado a severo (% Area)	B	5.4	C	0.4
	C	8.4	B	3.3
	A	13.1	A	15.9
Desprendimiento Severo a muy severo y bacheo (% Area)	B	2.9	C	0
	C	3.3	B	10.1
	A	19.5	A	15.9
Textura Lisa a muy lisa (% Area)	B	25.0	B	18.3
	C	28.1	C	28.0
	A	51.9	A	43.8
Roderas Media a severa (% Tramos)	B	11.1	B	5.6
	A	30.4	A	29.9
	C	42.6	C	45.1

(1) Ordenado de menor a mayor según magnitud de deterioro.

**Tabla No.2.3 Manifestaciones de deterioro en el carril izquierdo según diseño de mezcla utilizado.**

ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	AGRIETAMIENTO (% Area)				
		Sin agriet.	muy leve	leve	moderado	severo
0+000 A 5+300	5.3	95.7	0.0	1.1	3.2	0.1
5+300 A 37+400	32.1	17.0	0.1	2.4	6.2	9.7
37+400 A 39+900	2.5	99.3	0.0	0.4	0.4	0.0

ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS (% Area)					BACHEO (% Area)	
		Sin desprend.	muy leve	leve	moderado	severo		
0+000 A 5+300	5.3	5.5	47.0	33.8	7.7	5.9	0.0	4.2
5+300 A 37+400	32.1	3.0	34.2	28.6	21.5	12.0	0.6	3.3
37+400 A 39+900	2.5	6.3	45.4	42.5	5.9	0.0	0.0	0.0

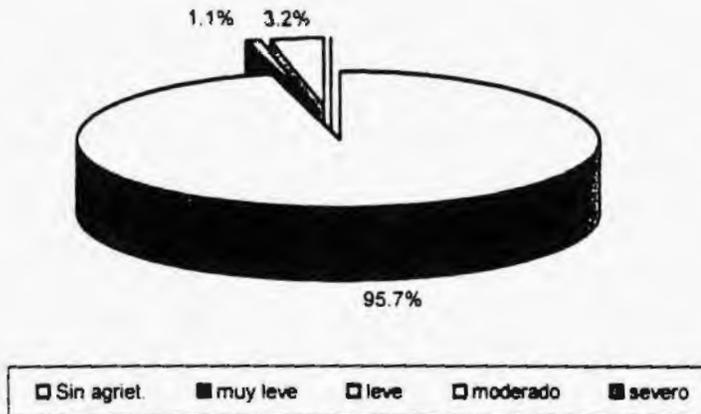
ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	TEXTURA (% de las secciones evaluadas)				
		muy liso	liso	rug. media	rugoso	muy rugoso
0+000 A 5+300	5.3	0.0	18.3	59.4	22.2	0.0
5+300 A 37+400	32.1	3.8	24.2	41.1	27.2	3.7
37+400 A 39+900	2.5	0.0	43.8	56.3	0.0	0.0

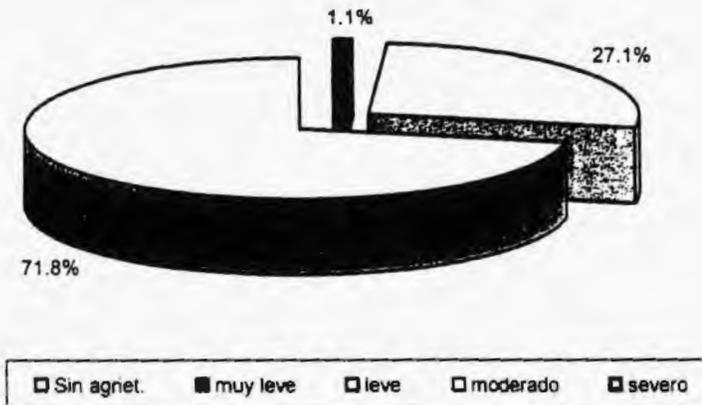
ESTACIONAMIENTO	Longitud del Tramo (km)	RODERAS (% de las secciones evaluadas)				
		Sin roderas	muy leve	leve	media	severa
0+000 A 5+300	5.3	27.8	55.6	11.1	0.0	5.6
5+300 A 37+400	32.1	5.8	44.7	19.6	20.6	9.3
37+400 A 39+900	2.5	0.0	32.5	22.5	18.8	26.3

**Figura 2.3 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril izquierdo**

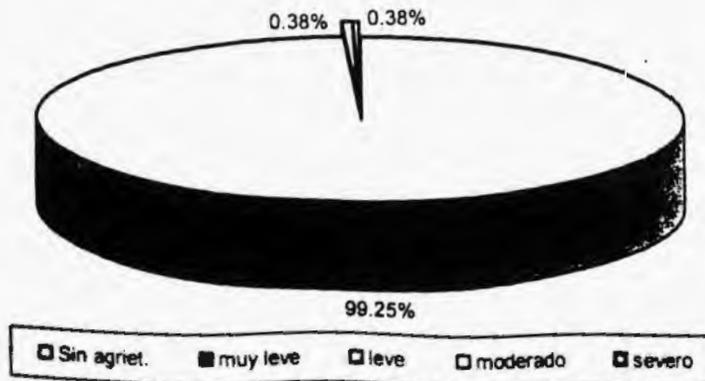
**Figura No.2.3a Patrón de agrietamiento en el carril izquierdo Mezcla B: Est. 0+100 a 5+300**

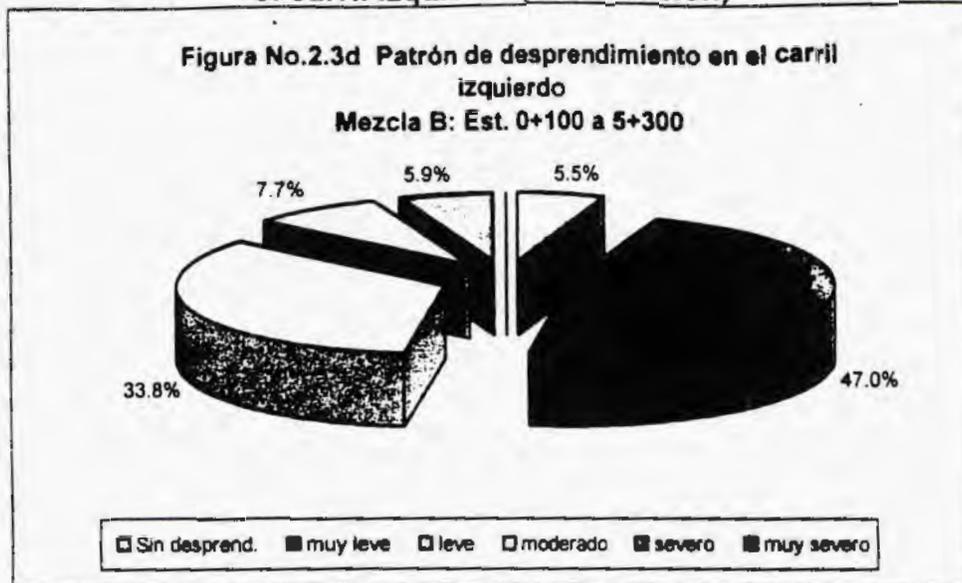


**Figura No.2.3b Patrón de agrietamiento en el carril izquierdo Mezcla A: Est. 5+400 a 37+400**



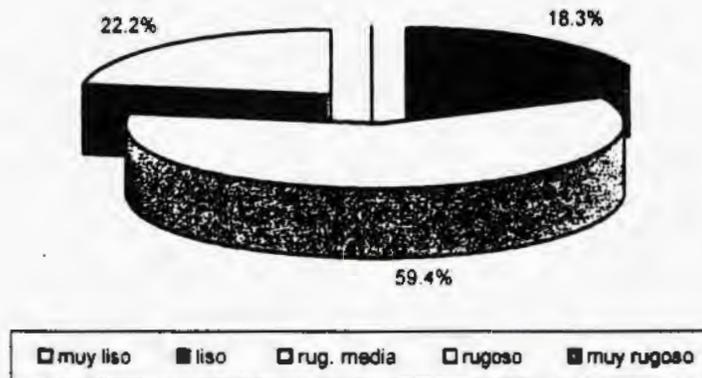
**Figura No.2.3c Patrón de agrietamiento en el carril izquierdo Mezcla C: Est. 37+500 a 39+900**



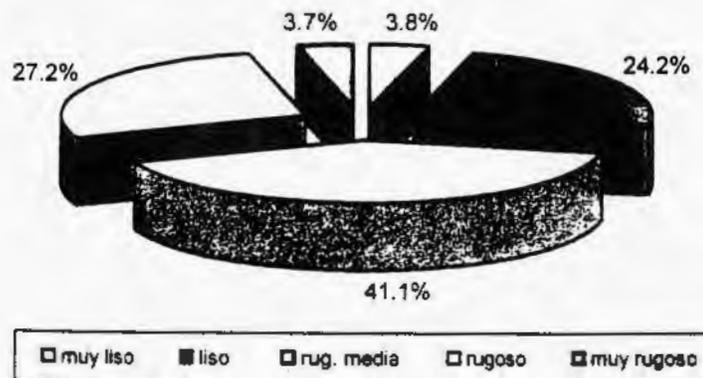


**Figura 2.3 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril izquierdo (continuación)**

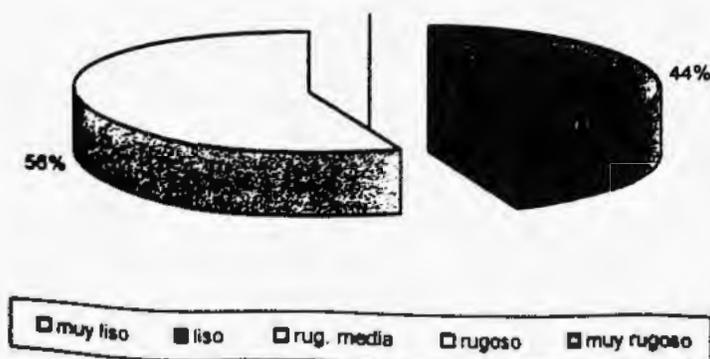
**Figura No.2.3g Patrón de textura en el carril izquierdo  
Mezcla B: Est. 0+100 a 5+300**



**Figura No.2.3h Patrón de textura en el carril izquierdo  
Mezcla A: Est. 5+400 a 37+400**

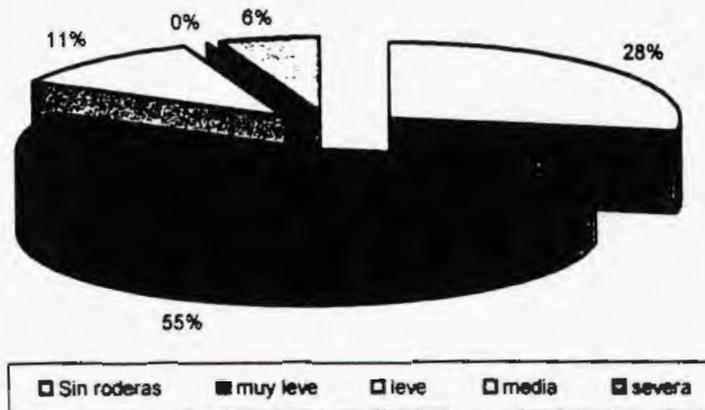


**Figura No.2.3i Patrón de textura en el carril izquierdo  
Mezcla C: Est. 37+500 a 39+900**

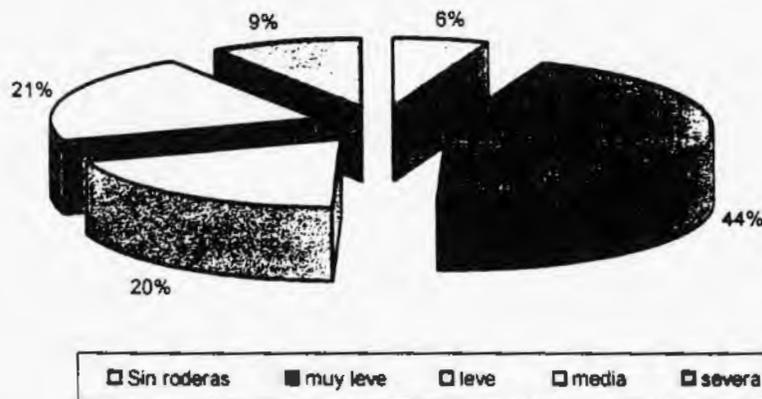


**Figura 2.3 Patrones de deterioro según diseño de mezcla en el carril izquierdo (continuación)**

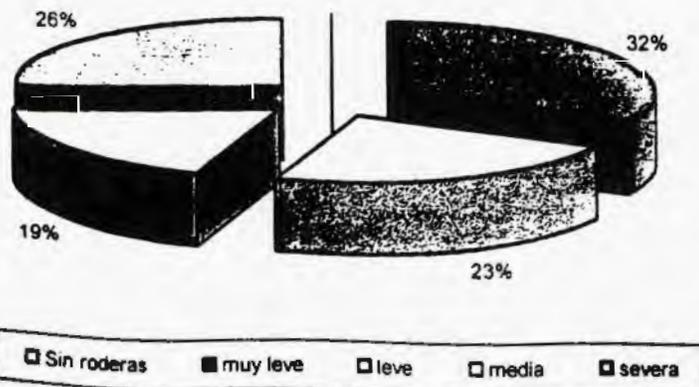
**Figura No.2.3j Patrón de roderas en el carril izquierdo Mezcla B: Est. 0+100 a 5+300**



**Figura No.2.3k Patrón de roderas en el carril izquierdo Mezcla A: Est. 5+400 a 37+400**



**Figura No.2.3l Patrón de roderas en el carril izquierdo Mezcla C: Est. 37+500 a 39+900**



## 2.2.4 Comentarios Finales

1. El nivel de deterioro observado en agrietamiento, desprendimiento y baches, evidencia un fenómeno de deterioro prematuro.
2. La textura superficial de lisa a muy lisa, detectada en el 29% de las secciones evaluadas, denotan un problema importante de esta vía desde el punto de vista de la seguridad, pues en condiciones de lluvia el coeficiente de rozamiento baja a niveles peligrosos en estos casos.
3. La situación de roderas, detectada en el 27.8% de los tramos evaluados, evidencia un problema que tiene dos causas (a nivel de la capa asfáltica), la calidad de la mezcla asfáltica desde el punto de vista de los agregados (incluida la granulometría) y la posible aplicación de un ligante inapropiado para las condiciones de clima y cargas de tránsito de la vía.
4. Se aprecian diferencias importantes respecto al comportamiento de cada uno de los tres tipos de mezcla utilizados. En general la mezcla denominada como B fue la que presentó mejor comportamiento, siendo la peor, desde el punto de vista de agrietamiento y desprendimiento la que se identifica como mezcla A, mientras que, por deterioro tipo rodera la de peor comportamiento fue la mezcla C.

**Capítulo 3**

**Análisis deflectométrico**

### **3. Análisis Deflectométrico**

#### **3.1 Aspectos Generales**

Se hizo la evaluación de la capacidad estructural del pavimento por medio del ensayo de la Viga Benkelman, con mediciones cada 100 metros. Adicionalmente en cada punto de medición se hizo una descripción de la condición superficial del pavimento y de los drenajes, con el propósito de facilitar la interpretación de los resultados del ensayo, especialmente en el caso de aquellos puntos que presentan valores extremos de deflexión.

La información obtenida se presenta de forma consecutiva (dirección Barranca-Arizona) en las tablas siguientes. Además, para cada una de las tablas se presenta el respectivo perfil de deflexiones por medio de histogramas.

Finalmente, por medio de un análisis estadístico, se separa la carretera en tramos homogéneos desde el punto de vista del análisis deflectométrico.

#### **3.2 Tablas de Resultados**

Las tablas e histogramas siguientes resumen los resultados obtenidos en este ensayo. (Tabla 3.2.1)

Tabla 3.2.1 Resultado del ensayo de deflectometría

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

**Carretera Interamericana**

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

TRAMO: Barranca - Arizona  
 SENTIDO: Barranca - Arizona  
 RUTA No. 1  
 CARRIL: Derecho  
 FECHA: 20-Jul-99

ESTACION	PUNTO NO	DEFLEXION mm*10-2	TEMPER PAVIM ( ° C)	TEMPER AIRE ( ° C)
0+100	1	20	36	30
0+200	2	7	36	30
0+300	3	2	36	31
0+400	4	38	37	31
0+500	5	50	37	31.5
0+600	6	29	37	31.5
0+700	7	16	38	32
0+800	8	22	38	32
0+900	9	32	39	32
1+000	10	29	39	32
1+100	11	32	40	33
1+200	12	21	40	33
1+300	13	20	41	33
1+400	14	45	41	33
1+500	15	49	42	33
1+600	16	24	42	33
1+700	17	34	42	33
1+800	18	43	42	33
1+900	19	28	42	33
2+000	20	25	42	33
2+100	21	38	42	33
2+200	22	71	42	33
2+300	23	33	42	33
2+400	24	27	42	33
2+500	25	49	42	33
2+600	26	39	43	33
2+700	27	51	43	33
2+800	28	41	43	33
2+900	29	38	43	33
3+000	30	35	43	33
3+100	31	28	43	33
3+200	32	41	43	33
3+300	33	42	43	33
3+400	34	39	43	33
3+500	35	23	43	33
3+600	36	25	43	33
3+700	37	13	43	33
3+800	38	19	43	33
3+900	39	41	43	33
4+000	40	15	43	33
4+100	41	26	43	33
4+200	42	13	44	33
4+300	43	29	44	33

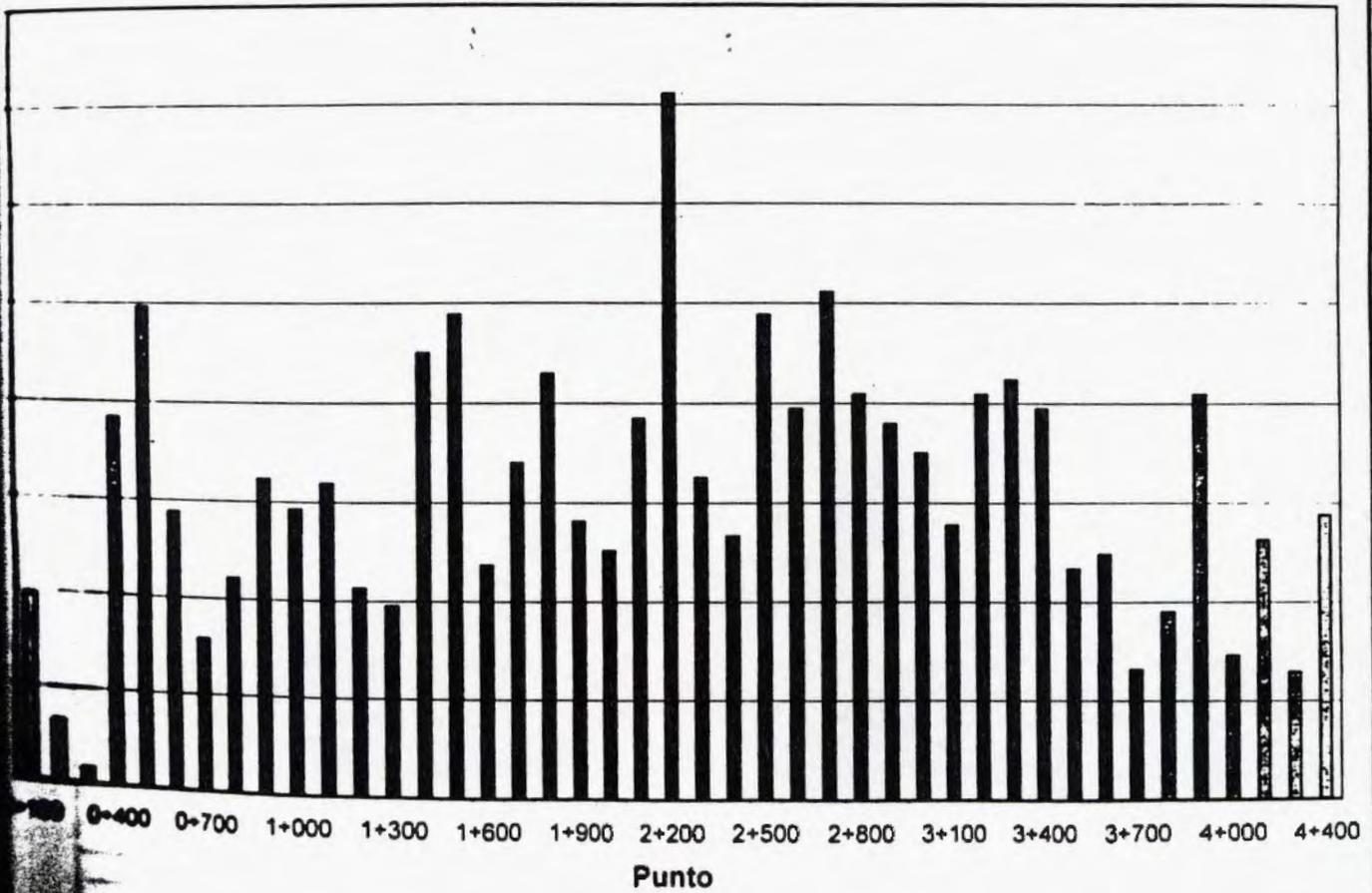
MEDIO (x): 31.18  
 ST. EST. (σ): 13.38

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

00 a 4+400

TRAMO: Barranca - Arizona  
SENTIDO: Barranca - Arizona  
MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



31.18  
13.38

4+500	44	10	44	33
4+600	45	30	44	33
4+700	46	17	44	33
4+800	47	9	44	33
4+900	48	27	44	33
5+000	49	43	44	33
5+100	50	10	44	33
5+200	51	14	44	33
5+300	52	20	44	33
5+400	53	14	44	34
5+500	54	33	44	34
5+600	55	40	44	34
5+700	56	21	45	34
5+800	57	26	45	34
5+900	58	28	45	34
6+000	59	24	45	34
6+100	60	10	45	34
6+200	61	21	45	34
6+300	62	18	45	34
6+400	63	20	45	34
6+500	64	21	45	34
6+600	65	18	45	34
6+700	66	9	45	34
6+800	67	10	45	34
6+900	68	9	45	34
7+000	69	18	45	34
7+100	70	15	34	28
7+200	71	26	34	28
7+300	72	29	34	28
7+400	73	31	34	28
7+500	74	37	34	28
7+600	75	15	34	28
7+700	76	10	35	28
7+800	77	13	35	28
7+900	78	32	35	28
8+000	79	64	35	29
8+100	80	25	35	29
8+200	81	20	35	29
8+300	82	17	35	29
8+400	83	24	35	29
8+500	84	34	35	29
8+600	85	52	35	29
8+700	86	77	35	29
8+800	87	69	35	29
8+900	88	74	35	29
9+000	89	51	36	29
9+100	90	26	36	29
9+200	91	18	36	29
9+300	92	28	36	29
9+400	93	48	36	29
9+500	94	41	36	29
9+600	95	13	36	29
9+700	96	35	37	29
9+800	97	27	37	29
10+000	98	16	37	29
10+100	99	14	37	29
10+200	100	27	37	29
10+300	101	13	37	29
10+400	102	11	37	29
10+500	103	8	37	29

MEDIO (x):  
Y. EST. (e)

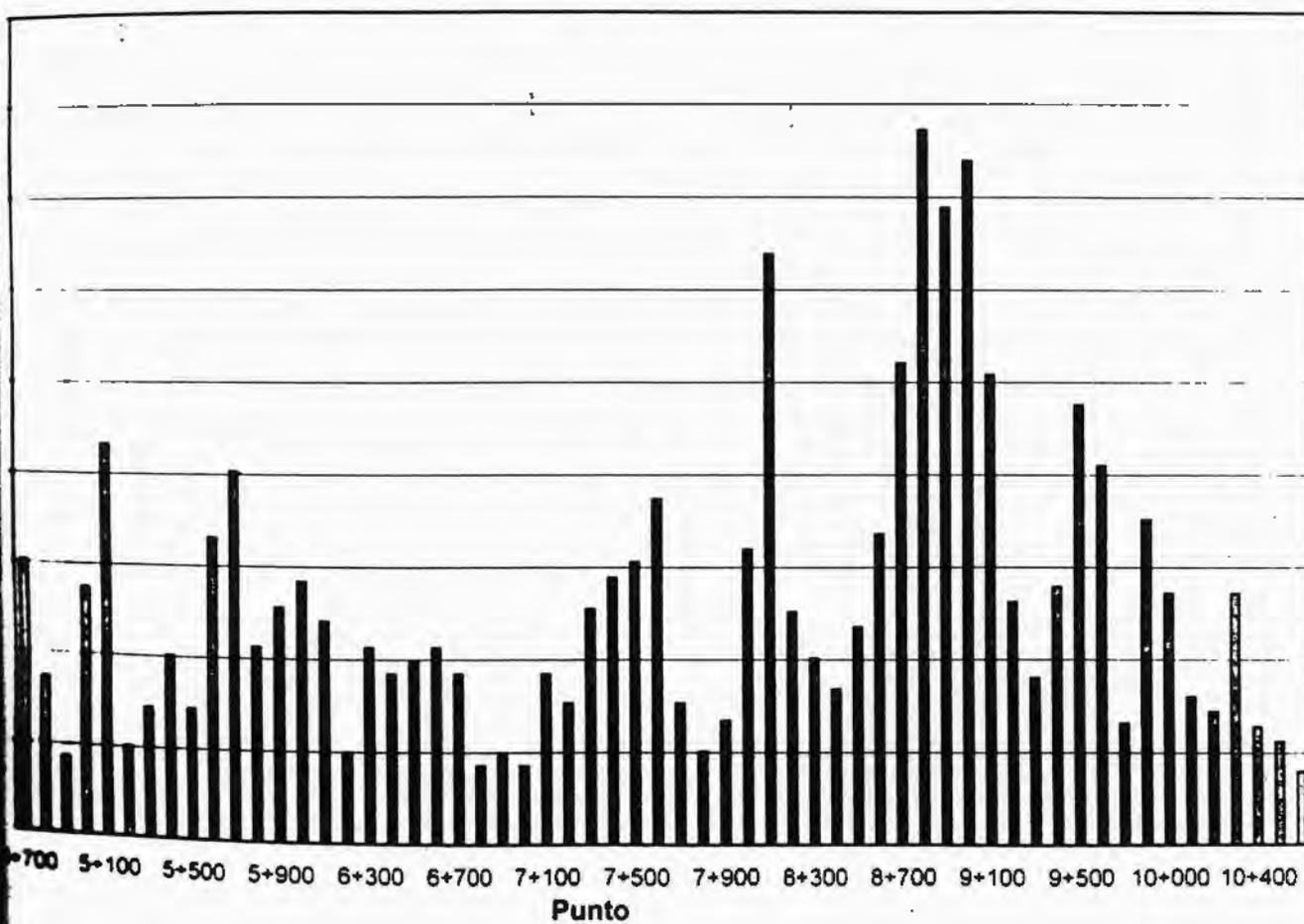
26.06  
16.28

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

00 a 10+500

TRAMO: Barranca - Arizona  
 SENTIDO: Barranca - Arizona  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



(R)  
(e)

28 08  
18 28

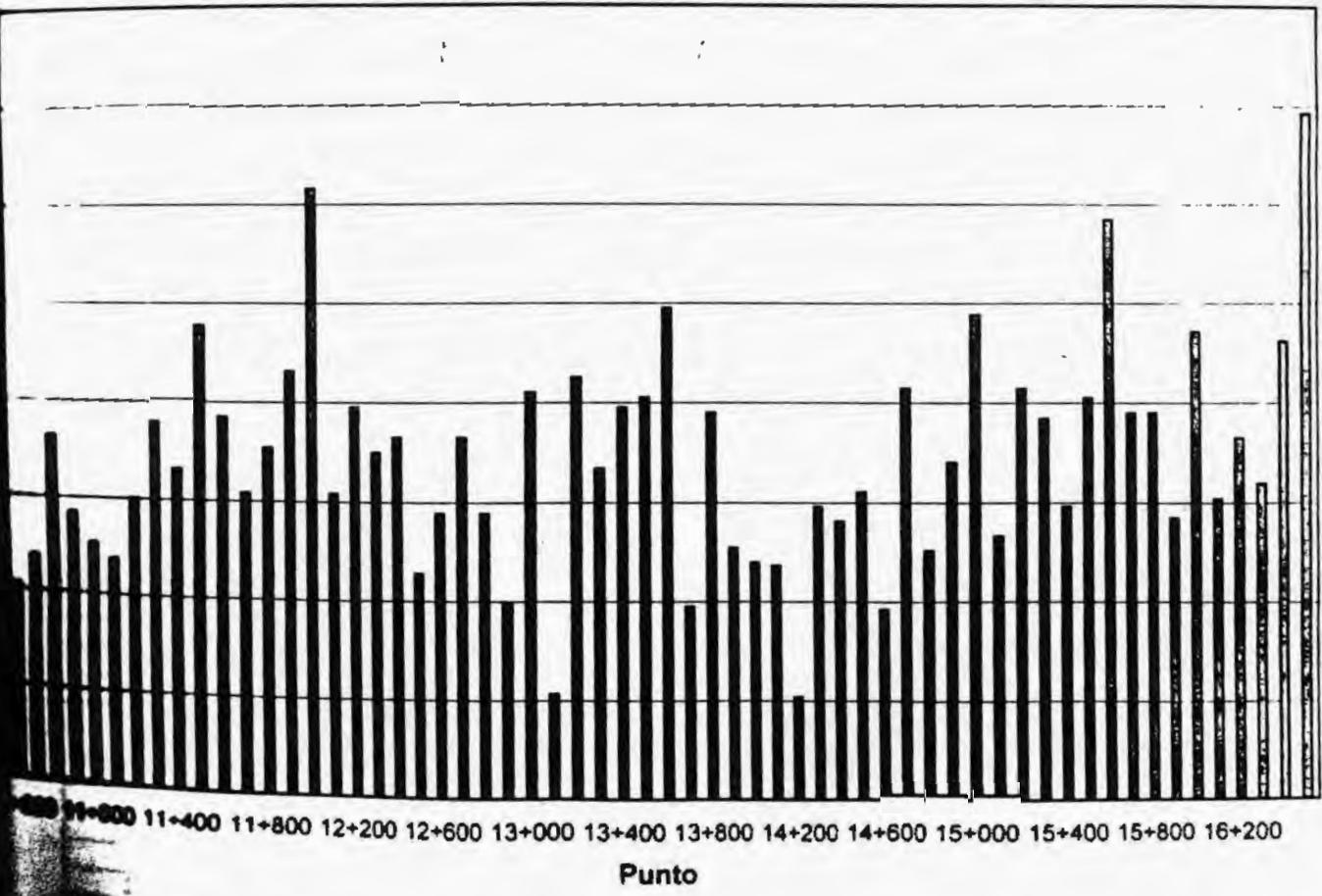
10+600	104	21	38	29
10+700	105	24	38	30
10+800	106	36	38	30
10+900	107	28	38	30
11+000	108	25	38	30
11+100	109	24	38	30
11+200	110	30	38	30
11+300	111	38	38	30
11+400	112	33	38	30
11+500	113	48	39	30
11+600	114	39	39	30
11+700	115	31	39	30
11+800	116	35	39	30
11+900	117	43	39	30
12+000	118	62	39	30
12+100	119	31	39	30
12+200	120	40	40	30
12+300	121	35	40	30
12+400	122	36	40	31
12+500	123	23	40	31
12+600	124	29	40	31
12+700	125	36	40	31
12+800	126	29	40	31
12+900	127	20	40	31
13+000	128	41	40	31
13+100	129	11	40	31
13+200	130	43	40	31
13+300	131	33	40	31
13+400	132	40	40	31
13+500	133	41	41	31
13+600	134	50	41	31
13+700	135	20	41	31
13+800	136	39	41	31
13+900	137	26	41	31
14+000	138	24	41	31
14+100	139	24	42	31
14+200	140	10	42	31
14+300	141	30	42	32
14+400	142	28	42	32
14+500	143	31	42	32
14+600	144	19	42	32
14+700	145	41	42	32
14+800	146	25	42	32
14+900	147	34	42	32
15+000	148	49	42	33
15+100	149	27	42	33
15+200	150	41	42	33
15+300	151	38	42	32
15+400	152	30	42	32
15+500	153	41	41	32
15+600	154	59	41	32
15+700	155	39	41	32
15+800	156	39	41	32
15+900	157	29	41	32
16+000	158	47	40	32
16+100	159	30	40	31
16+200	160	36	40	31
16+300	161	32	40	31
16+400	162	46	39	31
16+500	163	69	39	31
PROMEDIO (x):	34.25			
DEV. EST. (σ)	11.04			

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

600 a 16+500

TRAMO: Barranca - Arizona  
SENTIDO: Barranca - Arizona  
MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



04.25  
11.04

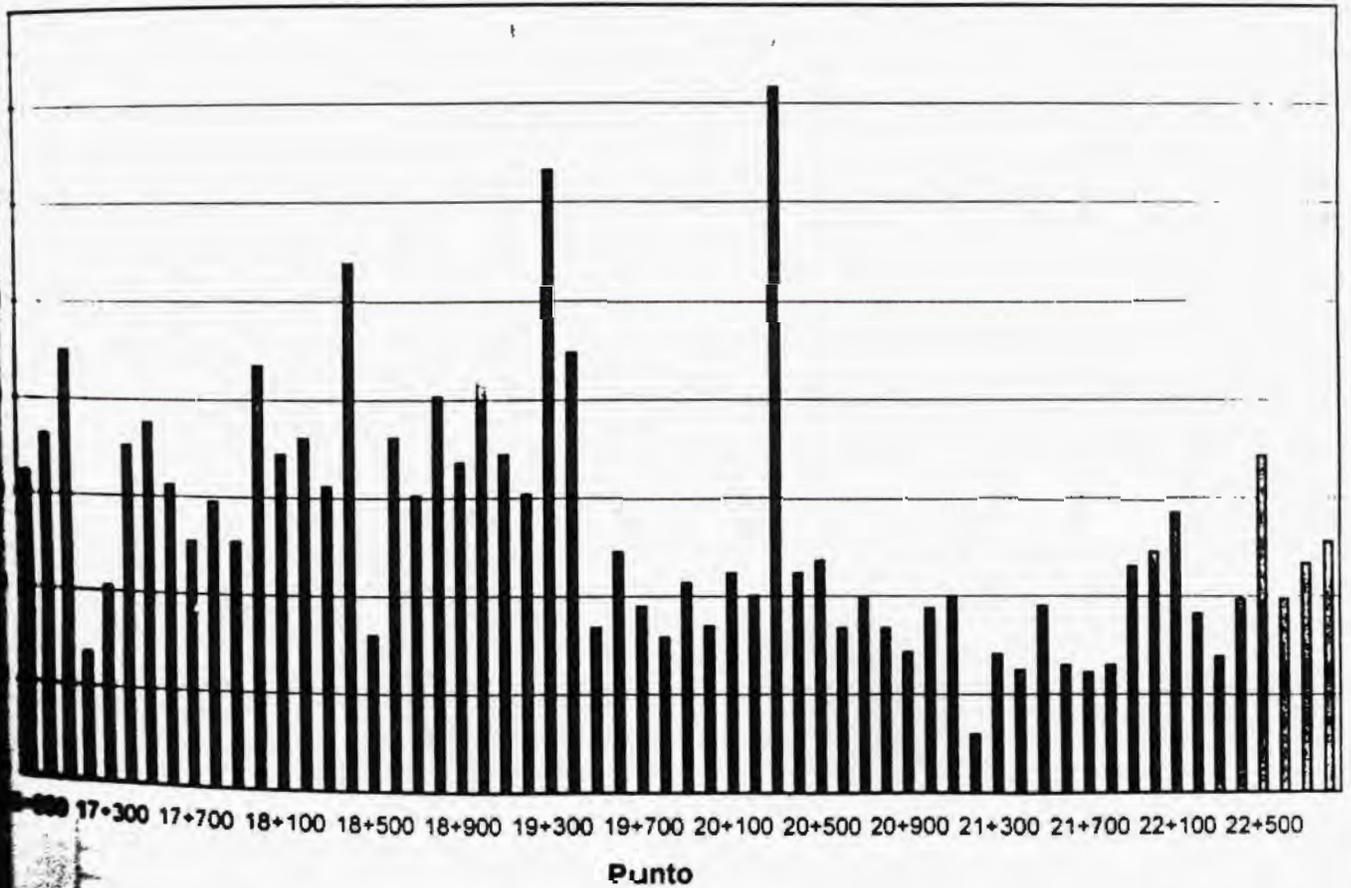
16+600	164	65	39	31
16+700	165	73	38	31
16+800	166	90	38	31
16+900	167	27	38	31
17+000	168	41	38	30
17+200	169	70	37	30
17+300	170	75	37	30
17+400	171	62	37	30
17+500	172	51	36	30
17+600	173	59	36	30
17+700	174	51	36	30
17+800	175	87	36	30
17+900	176	69	36	30
18+000	177	72	36	30
18+100	178	62	36	30
18+200	179	108	35	30
18+300	180	32	35	30
18+400	181	72	35	30
18+500	182	60	35	30
18+600	183	81	35	30
18+700	184	67	35	30
18+800	185	87	35	30
18+900	186	69	35	30
19+000	187	61	37	28
19+100	188	126	37	28
19+200	189	90	37	28
19+300	190	34	37	28
19+400	191	49	38	28
19+500	192	38	38	28
19+600	193	32	38	28
19+700	194	43	38	29
19+800	195	34	39	29
19+900	196	45	39	29
20+000	197	40	39	29
20+100	198	143	39	29
20+200	199	45	39	29
20+300	200	47	40	29
20+400	201	33	40	30
20+500	202	40	40	30
20+600	203	33	40	30
20+700	204	29	41	30
20+800	205	38	41	30
20+900	206	40	42	30
21+000	207	12	42	30
21+100	208	28	42	30
21+200	209	25	43	30
21+300	210	38	43	31
21+400	211	26	44	31
21+500	212	24	44	31
21+600	213	26	44	31
21+700	214	46	44	31
21+800	215	49	44	31
21+900	216	57	43	31
22+000	217	37	43	31
22+100	218	28	43	31
22+200	219	39	43	31
22+300	220	69	43	31
22+400	221	39	43	31
22+500	222	47	43	31
22+600	223	51	43	32
<b>PROMEDIO (x):</b>	53.48			
<b>DESV EST (σ)</b>	25.30			

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

600 a 22+600

TRAMO: Barranca - Arizona  
SENTIDO: Barranca - Arizona  
MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



63.48  
25.30

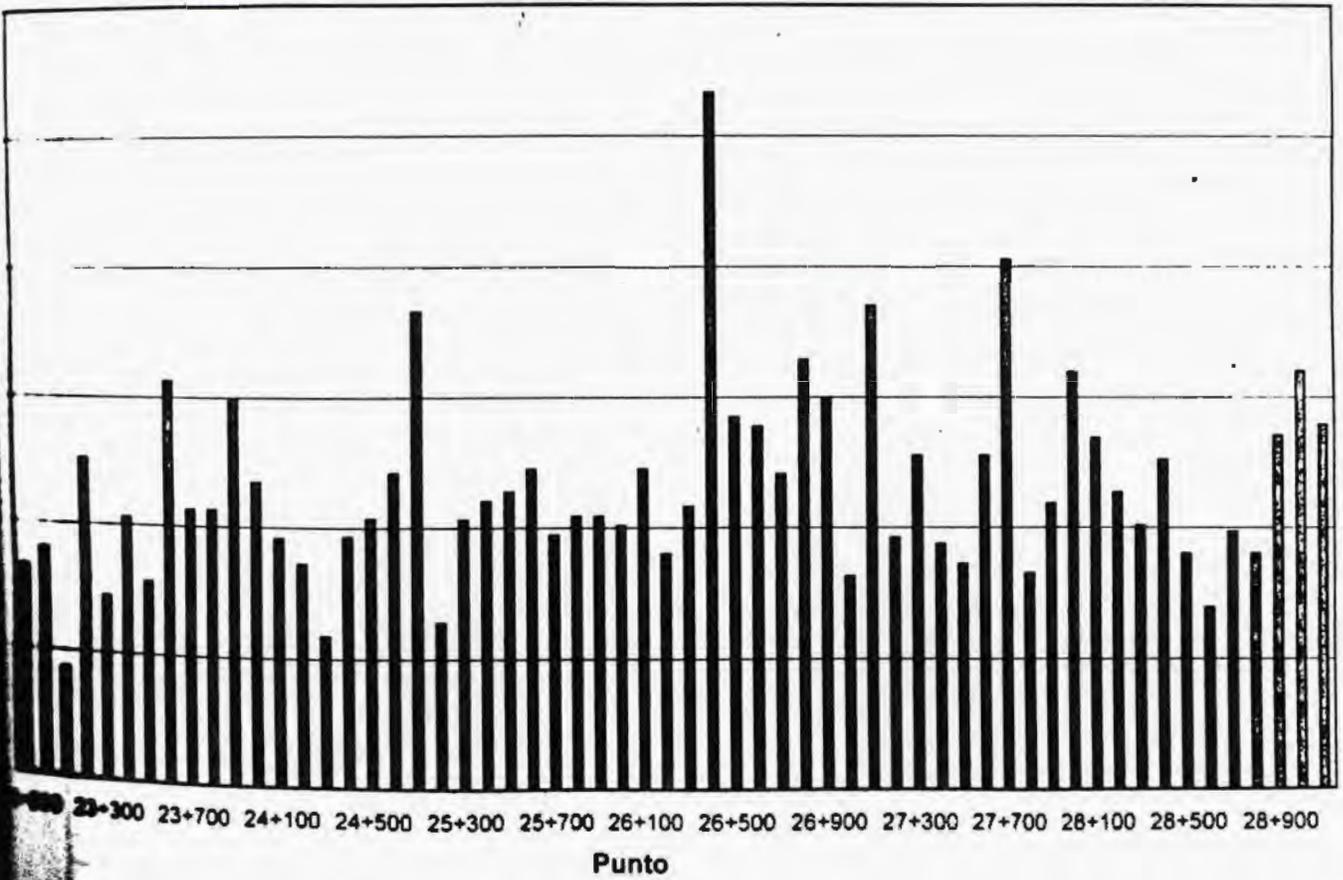
22+700	224	70	43	32
22+800	225	37	43	32
22+900	226	33	44	32
23+000	227	36	44	32
23+100	228	17	44	32
23+200	229	50	44	32
23+300	230	29	44	32
23+400	231	41	45	32
23+500	232	31	45	32
23+600	233	62	45	32
23+700	234	43	45	32
23+800	235	43	45	32
23+900	236	60	45	32
24+000	237	47	45	32
24+100	238	38	45	32
24+200	239	35	46	32
24+300	240	23	46	32
24+400	241	39	46	32
24+500	242	41	46	32
24+600	243	48	46	32
24+700	244	73	46	32
25+200	245	26	45	31
25+300	246	41	45	31
25+400	247	44	45	31
25+500	248	45	45	31
25+600	249	49	44	31
25+700	250	39	44	31
25+800	251	42	44	31
25+900	252	42	44	31
26+000	253	40	44	31
26+100	254	49	44	31
26+200	255	36	44	30
26+300	256	43	44	30
26+400	257	107	43	30
26+500	258	57	43	30
26+600	259	55	43	30
26+700	260	48	43	30
26+800	261	66	43	30
26+900	262	60	43	30
27+000	263	33	42	30
27+100	264	74	42	30
27+200	265	38	42	30
27+300	266	51	41	30
27+400	267	38	41	30
27+500	268	35	41	30
27+600	269	51	41	30
27+700	270	81	41	30
27+800	271	33	41	30
27+900	272	44	35	30
28+000	273	64	35	30
28+100	274	54	35	30
28+200	275	45	35	30
28+300	276	40	35	30
28+400	277	50	35	30
28+500	278	36	36	30
28+600	279	28	36	30
28+700	280	39	36	30
28+800	281	36	36	30
28+900	282	54	36	30
29+000	283	64	36	30
29+100	284	56	36	30
<b>PROMEDIO (x):</b>	<b>46.38</b>			
<b>DESV EST. (σ):</b>	<b>15.07</b>			

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

700 a 29+100

TRAMO: Barranca - Arizona  
SENTIDO: Barranca - Arizona  
MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



46.38  
15.07

29+200	285	61	36	30
29+300	286	48	37	30
29+400	287	54	37	30
29+500	288	59	37	30
29+600	289	72	37	31
29+700	290	64	37	31
29+800	291	50	37	31
29+900	292	48	37	31
30+000	293	55	38	31
30+100	294	58	38	31
30+200	295	43	38	31
30+300	296	52	38	31
30+400	297	55	38	31
30+500	298	47	38	31
30+600	299	60	38	32
30+700	300	49	39	32
30+800	301	54	39	32
30+900	302	28	39	32
31+000	303	71	39	32
31+100	304	35	39	32
31+200	305	49	39	32
31+300	306	31	39	32
31+400	307	31	39	32
31+500	308	33	40	32
31+600	309	29	40	32
31+700	310	30	40	32
31+800	311	27	40	32
31+900	312	43	40	32
32+000	313	35	40	32
32+100	314	46	40	32
32+200	315	52	40	33
32+300	316	49	40	33
32+400	317	36	41	33
32+500	318	32	41	33
32+600	319	29	41	33
32+700	320	27	41	33
32+800	321	51	41	33
32+900	322	39	41	33
33+000	323	50	41	33
33+100	324	51	41	33
33+200	325	50	41.5	33
33+300	326	38	41.5	33
33+400	327	31	41.5	33
33+500	328	33	42	33
33+600	329	44	42	33
33+700	330	33	42	33
33+800	331	47	42	33
33+900	332	41	42	33
34+000	333	71	42	33
34+100	334	68	42	33
34+200	335	31	42	33
34+300	336	44	42	33
34+400	337	25	42	32
34+500	338	46	42	32
34+600	339	47	42	32
34+700	340	49	42	32
34+800	341	49	42	32
34+900	342	37	42	32
35+000	343	18	42	32
35+100	344	21	42	32

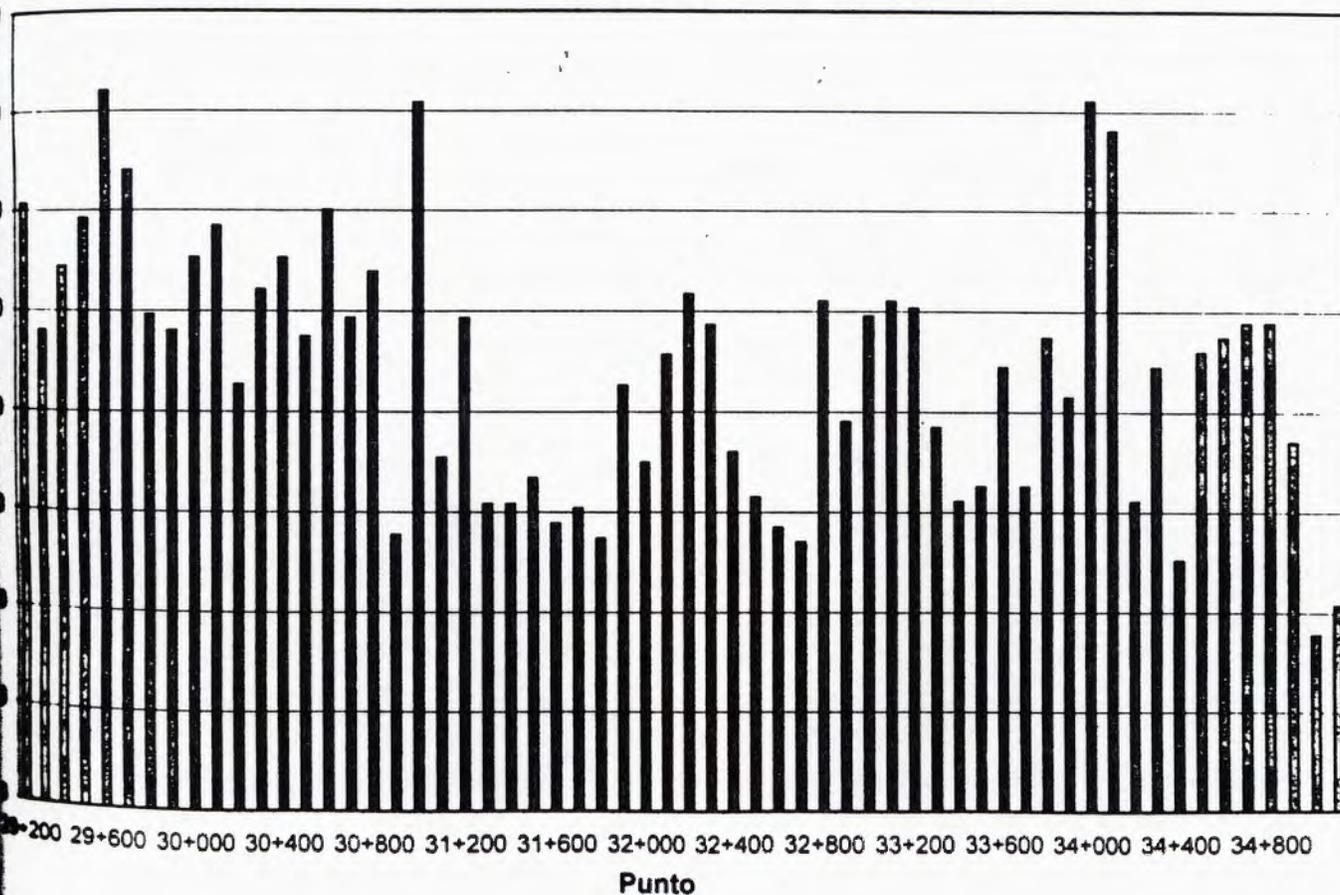
PROMEDIO (x): 44.28  
 DESV. EST. (σ): 12.88

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

200 a 35+100

TRAMO: Barranca - Arizona  
 SENTIDO: Barranca - Arizona  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



$\bar{x}$  44.28  
 $\sigma$  12.88

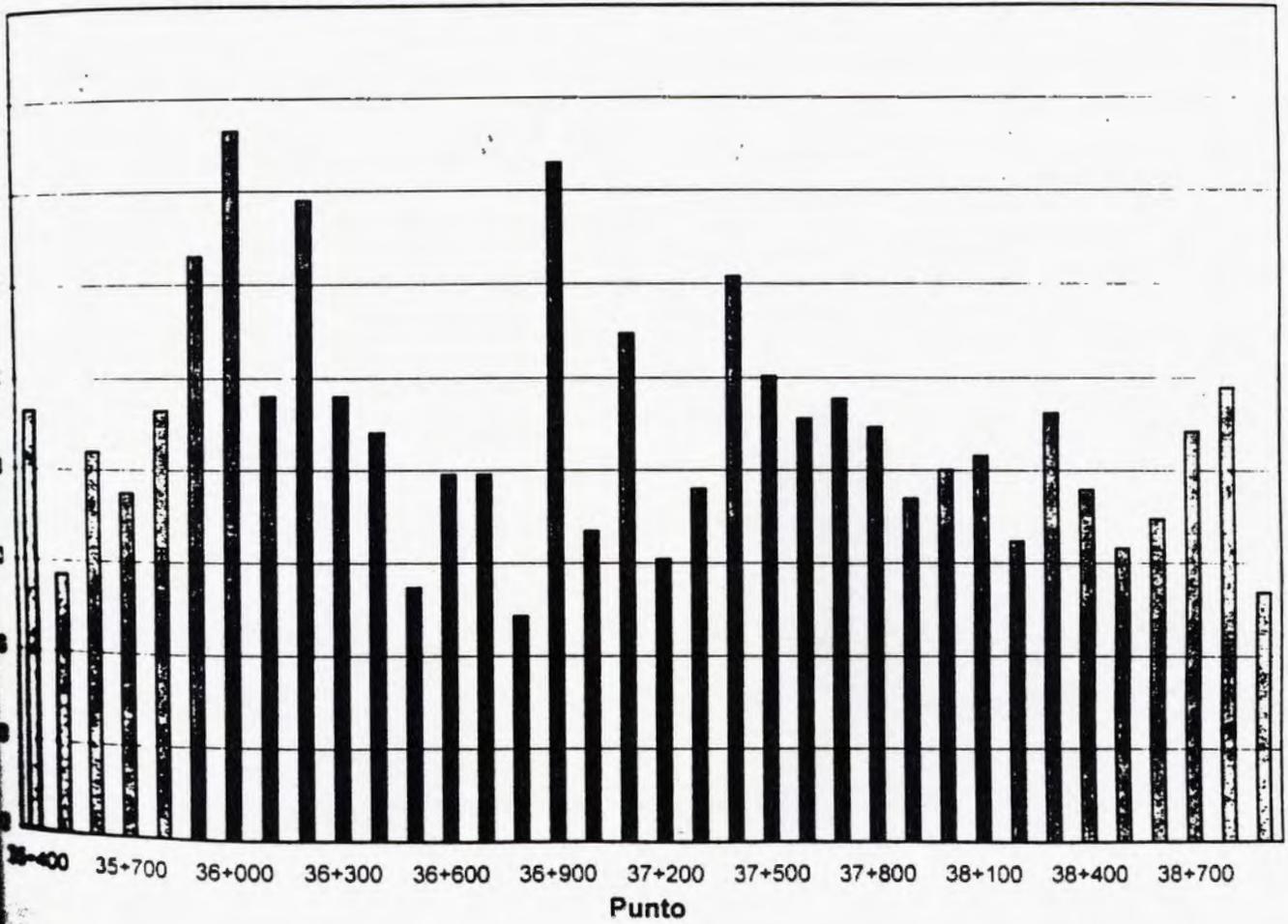
35+200	345	14	41	32
35+300	346	17	41	32
35+400	347	47	41	32
35+500	348	29	41	32
35+600	349	42	41	32
35+700	350	38	41	32
35+800	351	47	41	32
35+900	352	63	41	32
36+000	353	77	41	32
36+100	354	48	41	31
36+200	355	69	41	31
36+300	356	48	41	31
36+400	357	44	40	31
36+500	358	27	40	31
36+600	359	40	40	31
36+700	360	40	40	31
36+800	361	24	40	31
36+900	362	73	40	31
37+000	363	33	40	31
37+100	364	55	40	31
37+200	365	30	40	31
37+300	366	38	40	31
37+400	367	61	40	31
37+500	368	50	40	30
37+600	369	46	40	30
37+700	370	48	39	30
37+800	371	45	39	30
37+900	372	37	39	30
38+000	373	40	39	30
38+100	374	42	39	30
38+200	375	32	39	30
38+300	376	46	39	30
38+400	377	38	38	30
38+500	378	32	38	30
38+600	379	35	38	30
38+700	380	44	38	30
38+800	381	49	38	30
38+900	382	27	38	30
PROMEDIO ( $\bar{x}$ ):	42.38			
DESV. EST. ( $\sigma$ ):	13.85			

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

35+200 a 38+900

TRAMO: Barranca - Arizona  
 SENTIDO: Barranca - Arizona  
 MEDICIONES CADA 100 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



42 38  
 13 85

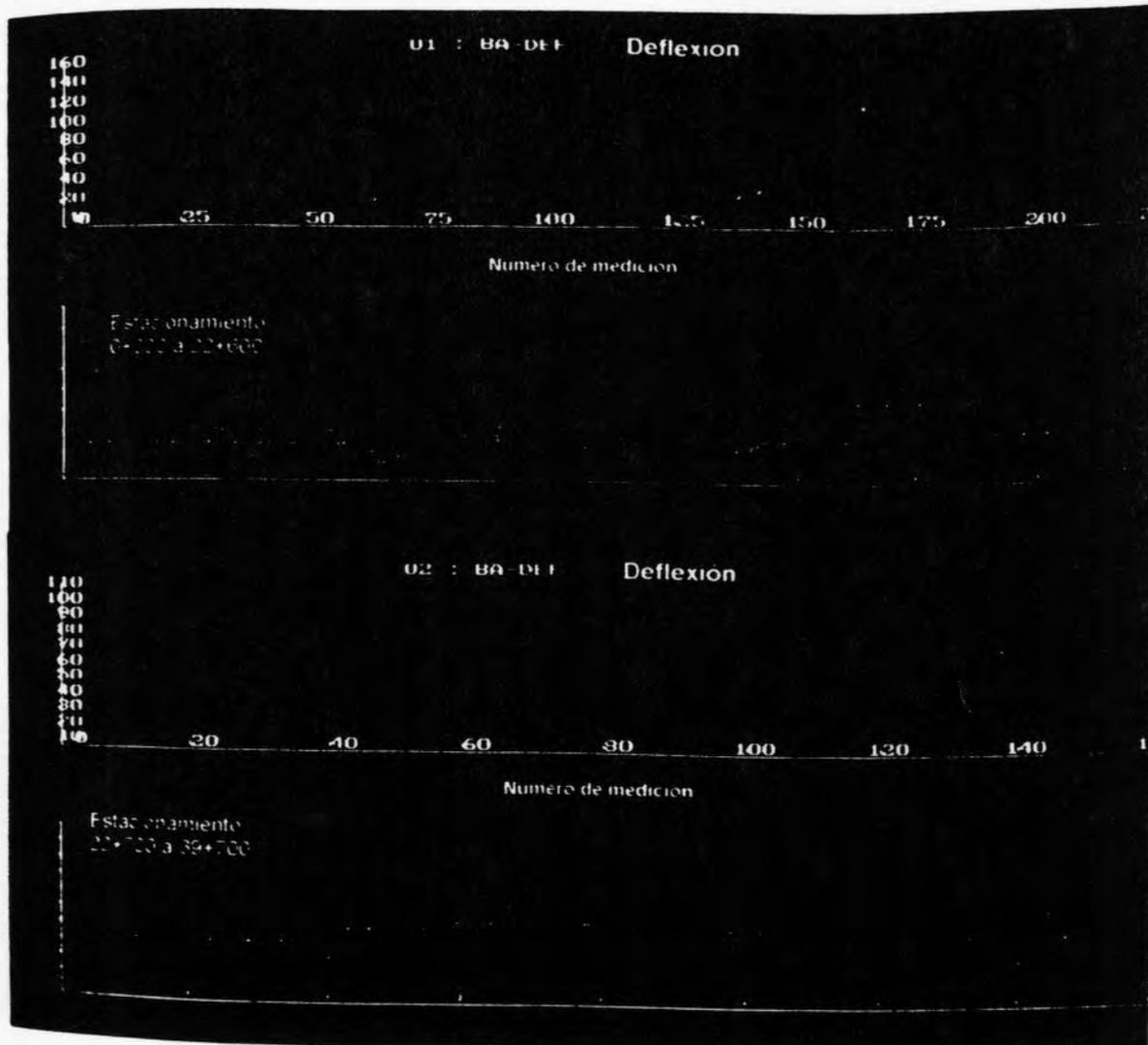
### 3.3 Análisis de tramos homogéneos

En las tablas siguientes, se resumen los tramos homogéneos, en que se puede subdividir el tramo Barranca-Arizona. Esta separación de tramos homogéneos corresponde a un análisis estadístico realizado con el programa SPEC.

**Tabla 3.1. Separación en tramos homogéneos**

Tramo No.	Estación	Deflexión promedio (mm*10 <sup>-2</sup> )	Desviación Estandar
1, 4	0+000 a 6+133 9+041 a 10+970	27.6	12.7
2	6+134 a 7+100	16.9	5.7
3, 5, 7 11, 13, 14	7+101 a 9+040 10+971 a 13+880 16+781 a 19+370 29+051 a 31+310 35+501 a 38+410 38+411 a 39+700	38.7	16.1
8	19+371 a 21+950	45.3	15.4
9, 10, 12	21+951 a 26+470 26+471 a 29+050 31+311 a 35+500	50.4	12.9
6	13+881 a 16+780	64.2	23.5

Figura 3.1. Presentación gráfica de los tramos homogéneos



**Capítulo 4**

**Sondeos a cielo abierto**

## 4. Sondeos a Cielo Abierto

Para valorar el perfil estructural del pavimento se realizaron 14 sondeos a cielo abierto y se determinaron los espesores y el tipo de material constitutivo de cada capa. Adicionalmente se realizaron ensayos de capacidad de soporte (CBR) en sitio, y se determinaron los valores de plasticidad (Límites de Atterberg) de las capas de base, sub-base y sub-rasante. Toda esta información es útil para el análisis estructural de retrocálculo de módulos del pavimento existente.

En los puntos donde se realizaron estos sondeos se midió la textura de la capa asfáltica por medio del ensayo de la Mancha de Arena.

Se presenta a continuación el croquis de ubicación de estos sondeos y una síntesis de los resultados obtenidos en este análisis.

De los perfiles de los sondeos se deduce que la conformación de las capas, especialmente en relación con el espesor, es sumamente variable. Además, la sub-rasante, que por la razón antes indicada se encuentra a profundidades muy variables, también presenta una importante dispersión en cuanto a capacidad de soporte (CBR).



PROYECTO BARRANCA - ARIZONA  
 UBICACION DE SONDEOS A CIELO ABIERTO

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

UBICACION: BARRANCA-ARIZONA

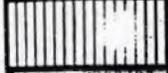
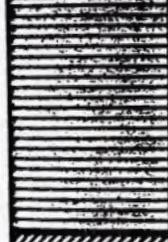
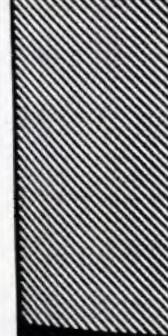
SONDEO: CA-12

No. DE MUESTRA:

1692-1710: Carpeta Asf.

1709: Base Granular

UBICACION: Frente Planta tratamiento agua potable A y A.  
Carril izquierdo hacia Barranca.  
28-7-99

ESPAESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, fisurado. Superficie de textura abierta. Ahuellamiento leve. Zona con bacheo moderado. Desprendimiento de moderado a severo.
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Grava de río triturada con material redondeado con tamaño máximo de 7.5 cm. Primeros 30 cm muy compactos.
	SELLO	Material asfáltico muy oxidado.
	SUB-BASE	Mismo material de la base.
	SUB-RASANTE	Grava de río en matriz de arcilla café amarillenta.  CBR sitio =5.6%

# LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

UBICACION: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: CA-11

UBICACION: 1 Km intersección a Puntarenas.  
Carril izquierdo hacia Barranca.

No. DE MUESTRA:

1679: Carpeta Asf.

1706: Base Granular

1705: Sub-rasante

FECHA: 28-7-99

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
1.5	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Textura lisa. Roderas de moderadas a severas.
1.5	CAPA ASFALTICA	
15.0	BASE GRANULAR	Grava de río triturada, con tamaño máximo de 2.5 cm, partículas redondeadas y arena limosa. Presena plasticidad. LIMITES DE ATTERBERG LL = 18.9 LP = 12.8 IP = 6.2
18.0	SUB-RASANTE	Limo arcilloso café rojizo con vetas de arcilla gris claro y ligeros rastros de material granular. Plasticidad media-alta.  CBR sitio = 1.5%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 55.5 LP = 17.8 IP = 37.6

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

ESTACION: BARRANCA-ARIZONA

UBICACION: 800 m antes de la entrada a Miramar.  
Carril izquierdo hacia Barranca.  
27-7-99

SONDEO: CA-10

No. DE MUESTRA:  
1686: Carpeta Asf.  
1693: Base Granular  
1694: Sub-rasante

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Roderas de moderadas a severas. Desprendimiento severo. Fisuramiento leve. Zona con mucho bacheo.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Grava de río triturada con material redondeado con tamaño máximo de 7.5 cm.
	MATERIAL DE PRESTAMO	Limo café claro con alto contenido de roca alterada y de roca compacta de hasta 2.5 cm de diámetro aproximadamente. Plasticidad media.  CBR sitio = 6 %  LIMITES DE ATTERBERG LL = 45.2 LP = 18.5 IP = 26.7

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

ERA: BARRANCA-ARIZONA

ON: 1.5 Km de Río Seco hacia Barranca. Carril izquierdo.

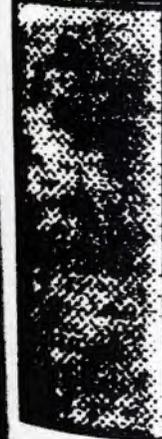
SONDEO: CA-9

No.DE MUESTRA:

1684: Carpeta Asf.

1712: Base Granular

27-7-99

ESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA	Textura media lisa. Presenta roderas y desprendimiento leves Presenta exudación leve.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Gravas de rio triturada, con particulas redondeadas y arena limosa color café  LIMITES DE ATTERBERG LL = 17.1 LP = 11.3 IP = 5.8
	MATERIAL DE PRESTAMO	Grava de rio en matriz de arcilla café amarillenta

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CIUDAD: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: CA-8

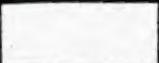
No. DE MUESTRA:

UBICACION: Frente Planta de incubación PIPASA. Mojón 132.  
Carril izquierdo hacia Barranca.  
27-7-99

1678: Carpeta Asf.

1707: Base Granular

1708: Material de préstamo

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, sin fisuras. Presenta exudación. Textura medianamente lisa, desprendimiento de moderado a severo.
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Grava de río triturada con material redondeado con tamaño máximo de 7.5 cm.
	MATERIAL DE PRESTAMO	Limo café amarillento con gran contenido de roca blancuzca alterada de hasta 3.81 cm de diámetro aproximadamente. Plasticidad media. CBR sitio = 5%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 41 LP = 20 1 IP = 20 9

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

ESTACION: BARRANCA-ARIZONA

UBICACION: 800 m antes de ingreso a Sardinal. Carril izquierdo hacia Barranca.

FECHA: 26-7-99

SONDEO: CA-7

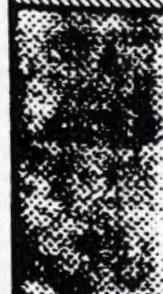
No. DE MUESTRA:

1687: Carpeta Asf.

1714: Base Granular

1713: Material de préstamo

1715: Sub-rasante

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, fisurado. Superficie de textura rugosa. Roderas, agrietamiento y desprendimiento severos.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Grava de río triturada, con tamaño máximo de 3.81 cm, contiene material arenoso.  Presenta plasticidad. LIMITES DE ATTERBERG LL = 18 LP = 12.2 IP = 5.9
	MATERIAL DE PRESTAMO	Limo arcilloso café rojizo con partículas de roca alterada amarillenta en poca cantidad. Presenta plasticidad  LIMITES DE ATTERBERG LL = 53 LP = 23.5 IP = 29.5
	SUB-RASANTE	Limo arcilloso color café con partículas de roca alterada blanca y amarillenta de hasta 1.27 cm de diámetro aproximadamente Plasticidad media CBR sitio = 2%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 44.4 LP = 22.9 IP = 21.5

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

UBICACION: BARRANCA-ARIZONA

DESCRIPCION: 2 Km del Rio Guacimal. Carril derecho hacia Guacimal.

FECHA: 26-7-99

SONDEO: CA-6

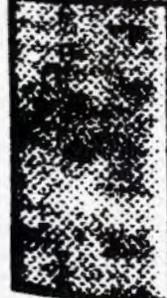
No. DE MUESTRA:

1683: Carpeta Asf.

1711: Base Granular

1697: Sub-base

1698: Sub-rasante

ESPEZOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, ligeramente fisurado. Desprendimiento de moderado a severo. Textura lisa en zona de roderas. Ahuellamiento leve.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Grava de río triturada con material redondeado con tamaño máximo de 33.0 cm.
	SUB-BASE	Grava de río en matriz de arcilla café claro.
	MATERIAL DE PRESTAMO	Grava de río en matriz de arcilla color café claro. Plasticidad media-alta  CBR sitio = 6%  LIMITE S DE ATTERBERG IL = 50.2 LP = 25 IP = 20.2

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

UBICACION: BARRANCA-ARIZONA

DESCRIPCION: 500 m antes San Gerardo. Carril izquierdo hacia Barranca.

FECHA: 25-7-99

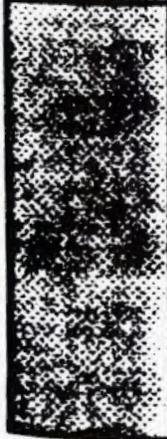
SONDEO: CA-5

No. DE MUESTRA:

1682-1688: Carpeta Asf.

1703: Base Granular

1704: Material de préstamo

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Daño severo en carpeta. Inestabilidad de terraplén, agrietamiento severo de la capa asfáltica. Desprendimiento severo y presencia de roderas.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Gravas de río de tamaño máximo de 5 cm, con arena limosa color café claro. de hasta 5 cm de diámetro aproximadamente.  LIMITES DE ATTERBERG LL = 15.6 LP = 11.1 IP = 4.5
	MATERIAL DE PRESTAMO	Limo arcilloso café claro con particulas de roca alterada y compacta de hasta 3.81 cm de tamaño máximo.  CBR sitio = 7.3% LIMITES DE ATTERBERG LL = 50.9 LP = 28.9 IP = 22

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CIUDAD: BARRANCA-ARIZONA

UBICACIÓN: Frente Finca San Rafael.

FECHA: 25-7-99

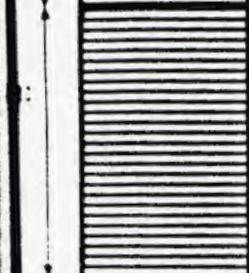
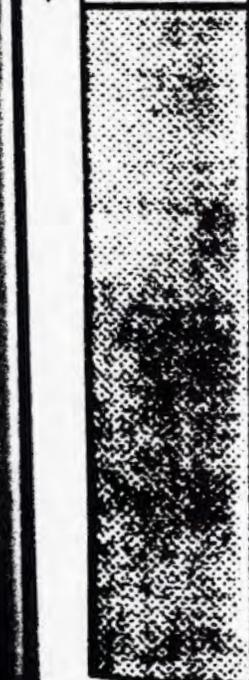
SONDEO: CA-4

No. DE MUESTRA:

1690: Carpeta Asf.

1696: Base Granular

1695: Material de préstamo

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, ligeramente fisurado. Superficie de textura rugosa y porosa. Desprendimiento de moderado a severo.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Gravas de río triturada con matriz limo-arenosa café claro, con tamaño máximo de 5.0 cm. LIMITES DE ATTERBERG LL = NP LP = NP IP = NP
	MATERIAL DE PRESTAMO	Gravas de río con una matriz limo-arenosa color café claro, con roca meteorizada color claro y tamaño máximo de 2.5 cm  CBR sitio = 9.3%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 50.6 LP = 24.5 IP = 26

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

**DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

**UBICACION: BARRANCA-ARIZONA**

**Ubicación: Frente Rancho Nacas Colo. Carril izquierdo hacia Barranca.**

**24-7-99**

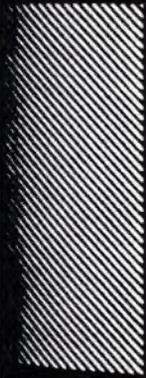
**SONDEO: CA-3**

**No.DE MUESTRA:**

1689-1691: Carpeta Asf

1702: Base Granular

1701: Sub-base

ESPAESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA	Concreto asfáltico, sin grietas ni desprendimiento. Superficie de textura lisa con brillo.
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Gravas de río, de tamaño máximo de 5 cm, con arena limosa color café. Presenta plasticidad.  LIMITES DE ATTERBERG LL = 16.4 LP = 12.2 IP = 4.2
	SUB-BASE	Gravas de río con roca alterada blanca y matriz limosa café claro. Tamaño máximo de 3.81 cm. LIMITES DE ATTERBERG LL = 43.3 LP = 21 IP = 22.3
	SUB-RASANTE	Grava de río en matriz de arcilla café amarillenta  CBR sitio = 2.6%

# LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

**BARRANCA ARIZONA**  
**Carretera Salada a Lourdes. Carril izquierdo hacia Barranca.**  
**24-7-69**

**SONDEO: CA-2**  
**No. DE MUESTRA:**  
 1685: Carpeta Asfáltica  
 1699: Base Granular  
 1700: Material de préstamo

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, agrietamiento severo. Roderas, cuero de lagarto severo. Superficie de textura rugosa y superficialmente porosa.
	BASE GRANULAR	Grava de rio triturada con material redondeado con tamaño máximo de 7.5 cm.
	SELLO ASFALTICO	Sello asfáltico envejecido de escaso espesor (1 a 1.5 cm)
	BASE GRANULAR	Grava de rio triturada con material redondeado con tamaño máximo de 7.5 cm.
	MATERIAL DE PRESTAMO	Arcilla color café con partículas de roca alterada color amarillentas y blancas de hasta 3.81 cm de diámetro Plasticidad media alta  CBR sitio = 3.6%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 64.6 LP = 23.6 IP = 41.1

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CIUDAD: BARRANCA-ARIZONA

UBICACION: Frente a Soda Yupris. Carril izquierdo hacia Barranca.

FECHA: 24-7-99

SONDEO: CA-1

No. DE MUESTRA:

1680-1681: Carpeta Asfáltica

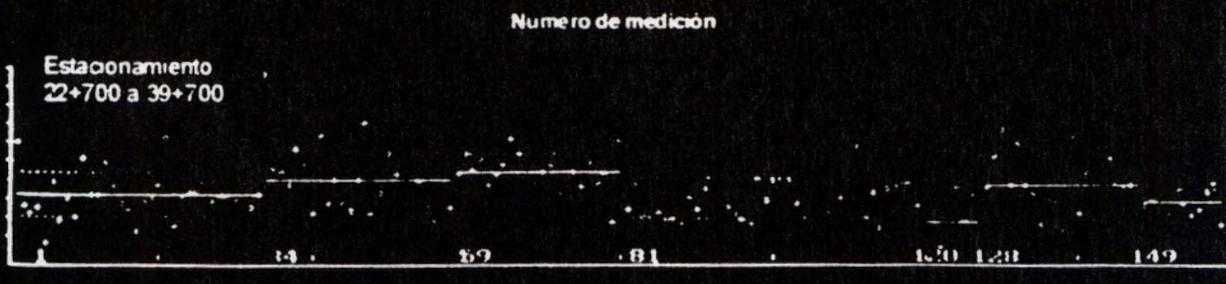
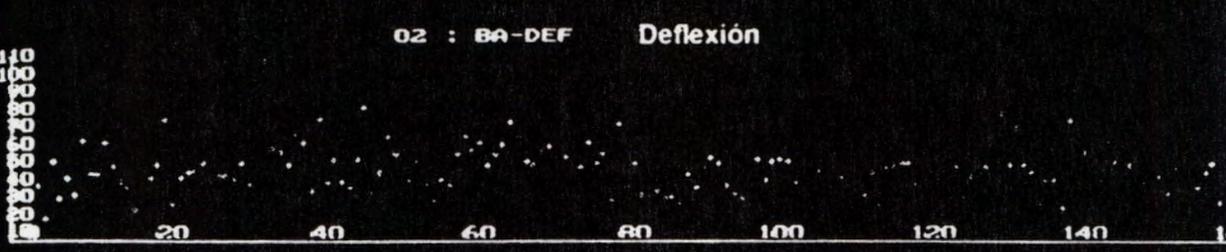
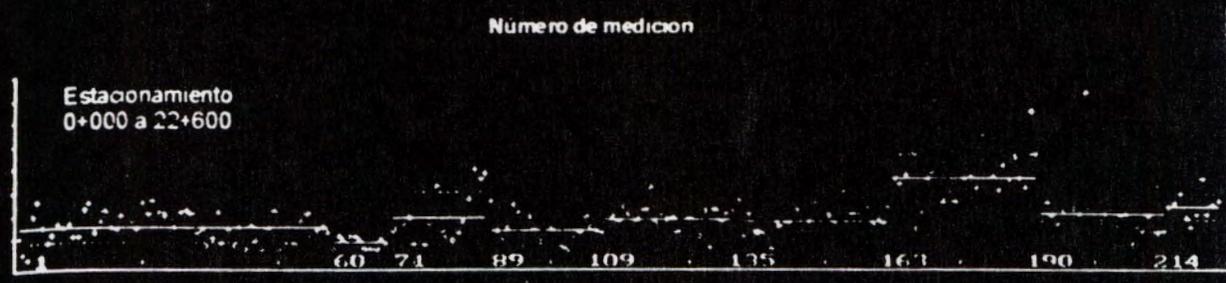
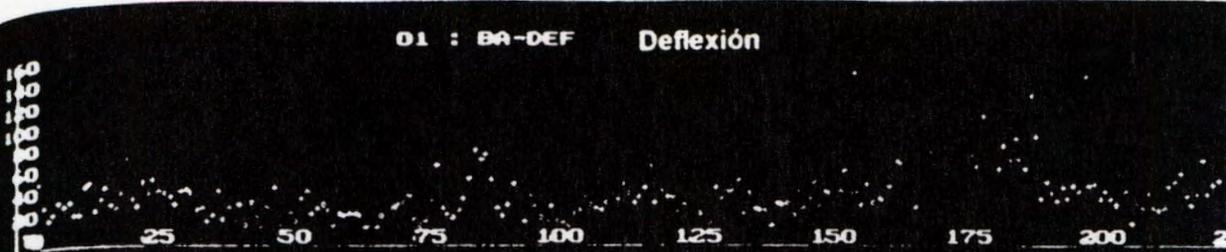
1718: Base Granular

1717: Sub-base

1716: Sub-rasante

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, sin fisuras ni desprendimiento. Textura muy lisa y brillante, completamente cerrado superficialmente.
	SOBRE-CAPA ASFALTICA	
	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Predominan gravas trituradas, de tamaño máximo de 3.81 cm, color gris claro.  LIMITES DE ATTERBERG LL = NP LP = NP IP = NP
	SUB-BASE	Particulas de roca alterada color blanco de tamaño máximo de 2.5 cm, con matriz limosa color café amarillenta. Presenta plasticidad  LIMITES DE ATTERBERG LL = 49 LP = 17.9 IP = 31.1
	SUB-RASANTE	Arcilla café marrón "no expansiva", con ligeras particulas de roca alterada amarillenta. Plasticidad media-alta  CBR sitio = 2.6%  LIMITES DE ATTERBERG LL = 62 IP = 20.7 IP = 41.3

Figura No. 6.1 Presentación gráfica de los tramos homogéneos



## **ANEXO 5.1**

### **CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL CARRIL DE DISEÑO**

PROYECTO : BARRANCA - ARIZONA

Tabla No. 5.1 Crecimiento del flujo vehicular

TPD		
AÑO		TOTAL
1994	4970	2485
1995	5140	5140
1996	5640	5640
1997	6120	6120
1998	6426	6426
1999	6747	3374
5 años	Σ	29185

Tabla No.5.2 Escenarios de composición vehicular

LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2
39	25	6	10	2	18
42.5	29	5	8	1.5	14

Tabla No. 5.3 Ejes equivalentes en el carril de diseño, según tipo de vehículo

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV.	4.15E+02	3.33E+04	2.88E+05	5.33E+05	1.76E+05	2.16E+06	3.19E+06

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV.	4.53E+02	3.86E+04	2.40E+05	4.26E+05	1.32E+05	1.68E+06	2.51E+06

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV.	2.08E+03	3.99E+04	3.20E+05	6.13E+05	1.86E+05	2.40E+06	3.56E+06

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV.	2.26E+03	4.63E+04	2.66E+05	4.90E+05	1.40E+05	1.86E+06	2.81E+06

# PROYECTO : BARRANCA - ARIZONA

No. 5.4 Crecimiento del flujo vehicular para i = 5%

Años	TPD	
		5%
2009	6120	
2010	6426	
2011	6747	
2012		7085
2013		7439
2014		7811
2015		8201
2016		8611
2017		9042
2018		9494
2019		9969
2020		10467
2021		10991
2022		11540
2023		12117
15 años	Σ	112768
2012		12723
2013		13359
2014		14027
15 años	Σ	152877

No.5.5 Escenarios de composición vehicular

AÑOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2
39	25	6	10	2	18
42.5	29	5	8	1.5	14

No. 5.6 Ejes equivalentes en el carril de diseño, según tipo de vehículo

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
1.61E+03	1.29E+05	1.11E+06	2.06E+06	6.79E+05	8.33E+06	1.23E+07	
2.18E+03	1.74E+05	1.51E+06	2.79E+06	9.21E+05	1.13E+07	1.67E+07	

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
1.75E+03	1.49E+05	9.26E+05	1.65E+06	5.09E+05	6.48E+06	9.72E+06	
2.37E+03	2.02E+05	1.26E+06	2.23E+06	6.91E+05	8.79E+06	1.32E+07	

Tabla No. 5.6 Ejes equivalentes en el carril de diseño, según tipo de vehículo  
(continuación)

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV. (12 años)	8.03E+03	1.54E+05	1.23E+08	2.37E+08	7.20E+05	9.26E+06	1.37E+07
EJES EQUIV. (15 años)	1.09E+04	2.09E+05	1.67E+08	3.21E+08	9.77E+05	1.26E+07	1.86E+07

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
EJES EQUIV. (12 años)	8.75E+03	1.79E+05	1.03E+06	1.89E+06	5.40E+05	7.20E+06	1.09E+07
EJES EQUIV. (15 años)	1.19E+04	2.43E+05	1.40E+06	2.57E+06	7.32E+05	9.77E+06	1.47E+07

PROYECTO : BARRANCA - ARIZONA

No. 5.7 Crecimiento del flujo vehicular para  $i = 7.5\%$

TPD		7.5%
AÑO		
1997	6120	
1998	6579	
1999	7072	
2000		7603
2001		8173
2002		8786
2003		9445
2004		10153
2005		10915
2006		11734
2007		12614
2008		13560
2009		14576
2010		15670
2011		16845
12 años	Σ	140073
2012		18108
2013		19466
2014		20926
3 años	Σ	198574

No.5.8 Escenarios de composición vehicular

AÑOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2
39	25	6	10	2	18
42.5	29	5	8	1.5	14

No. 5.9 Ejes equivalentes en el carril de diseño, según tipo de vehículo

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
ES EQUIV. (12 años)	1.99E+03	1.60E+05	1.38E+06	2.56E+06	8.44E+05	1.04E+07	1.53E+07
ES EQUIV. (15 años)	2.83E+03	2.26E+05	1.96E+06	3.62E+06	1.20E+06	1.47E+07	2.17E+07

FACTOR CARGA	0.0002	0.025	0.9	1	1.65	2.25	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
ES EQUIV. (12 años)	2.17E+03	1.85E+05	1.15E+06	2.05E+06	6.33E+05	8.05E+06	1.21E+07
ES EQUIV. (15 años)	3.08E+03	2.63E+05	1.63E+06	2.90E+06	8.97E+05	1.14E+07	1.71E+07

Tabla No. 5.9 Ejes equivalentes en el carril de diseño, según tipo de vehículo  
(continuación)

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
Ejes EQUIV. (12 años)	9.97E+03	1.92E+05	1.53E+06	2.94E+06	8.95E+05	1.15E+07	1.71E+07
Ejes EQUIV. (15 años)	1.41E+04	2.72E+05	2.17E+06	4.17E+06	1.27E+06	1.63E+07	2.42E+07

FACTOR CARGA	0.001	0.03	1	1.15	1.75	2.5	
TIPO VEHICULO	LIVIANOS	CL	BUS	C2	C3	T3-S2	TOTAL
Ejes EQUIV. (12 años)	1.09E+04	2.22E+05	1.28E+06	2.35E+06	6.71E+05	8.95E+06	1.35E+07
Ejes EQUIV. (15 años)	1.54E+04	3.15E+05	1.81E+06	3.33E+06	9.51E+05	1.27E+07	1.91E+07

## **Capítulo 6**

### **Análisis estructural del pavimento existente**

## 6. Análisis Estructural del Pavimento Existente

El análisis estructural del pavimento existente se hizo con dos propósitos:

Verificar la capacidad a fatiga del pavimento, a fin de valorar la eventualidad de posibles agrietamientos en la capa de rodamiento existente, consecuencia de alguna deficiencia estructural de la estructura de pavimento y/o calidad de la mezcla asfáltica de la carpeta.

Proponer alternativas de rehabilitación al pavimento existente, de conformidad con las proyecciones de tránsito y de cargas, para el año 2011 y 2014.

Para llevar a cabo este análisis estructural se procedió conforme se detalla en los apartados siguientes.

### 6.1 Análisis deflectométrico

Se hizo un estudio deflectométrico con viga Benkelman. A partir de esta evaluación de campo se definió el perfil de deflexiones y se sub-dividió el proyecto en tramos homogéneos, los cuales a su vez se sub-dividen en secciones homogéneas, de acuerdo con la posibilidad estadística de que existen diferencias significativas entre sus promedios de deflexión. En la Figura No.6.1 se muestra la distribución de tramos homogéneos a lo largo del proyecto y en la Tabla No. 6.1 se sintetizan los resultados obtenidos.

Figura No. 6.1 Presentación gráfica de los tramos homogéneos

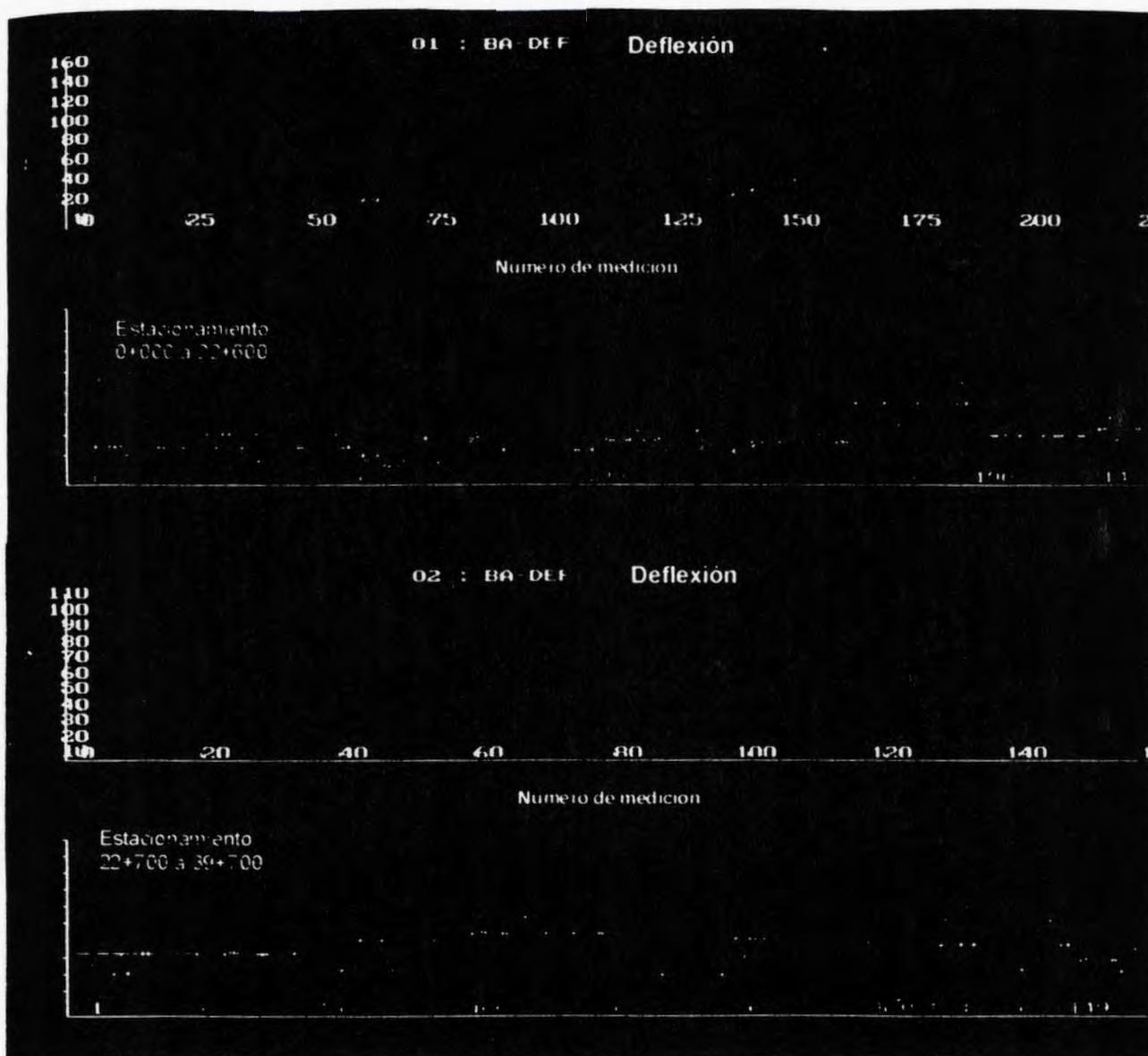


Tabla No. 6.1 Tramos homogéneos según orden descendente de deflexión media

Tramo	Estación	Deflex (x) <sup>(1)</sup>	Sondeo <sup>(2)</sup>	Longitud (km)	$x_p$ <sup>(3)</sup>	$\sigma$ <sup>(4)</sup>	$x_p + \sigma$	$x_p + 1.5\sigma$	$x_p + 1.8\sigma$	$x_p + 2.0\sigma$
1	7+100 a 6+134		No hay	1.0	16.9	5.7	22.6	25.5	27.2	28.3
2	0+000 a 6+133 9+041 a 10+970		11, 12	8.1	27.6	12.7	40.3	46.6	50.4	52.9
3	7+101 a 9+040	36.8	10, 9, 14, 4 13, 3, 2, 1	13.9	39.4	16.9	56.3	64.7	69.8	73.2
	10+971 a 13+880	37.4								
	6+781 a 19+370	38.7								
	9+051 a 31+310	38.7								
	35+501 a 38+410	40.2								
8+411 a 39+700	41.8									
4	19+371 a 21+950	45.3	6	2.6	45.3	15.4	60.7	68.4	73.0	76.1
5	21+951 a 26+470	64.2	5	11.3	50.4	12.9	63.3	69.8	73.6	76.2
	26+471 a 29+050 31+311 a 35+500									
6	13+881 a 16+780	64.2	7, 8	2.8	64.2	23.5	87.7	99.5	106.5	111.2

- (1) Deflexión promedio de la sección homogénea
- (2) Número de sondeo a cielo abierto dentro del tramo
- (3)  $X_p$  promedio de las deflexiones del tramo
- (4) Desviación estándar de las deflexiones del tramo

NOTA: deflexiones medidas en centésimas de milímetro.

## 6.2 Sondeos a cielo abierto y análisis de laboratorio

Se complementó la evaluación en campo por medio de sondeos a cielo abierto. De estos sondeos se obtuvieron:

- Los espesores de las capas constitutivas del pavimento
- Muestras de las capas de base, sub-base y sub-rasante para análisis en el laboratorio
- La capacidad de soporte (CBR) de la sub-rasante
- Muestras para la evaluación de la condición actual de la carpeta (Capítulo 8).

En el capítulo 4 se muestra un resumen detallado de la información obtenida por medio de estos sondeos.

Esta información sirvió de base para el retrocálculo de módulos resilientes de las capas del pavimento existente y para los análisis de fatiga que posteriormente se realizaron.

## 6.3 Retrocálculo de módulos

En el Anexo 6.1 se detallan los análisis realizados (iteraciones) en este retrocálculo de módulos resilientes.

Los análisis se realizaron separadamente para cada tramo homogéneo, según deflectometría y a diferentes niveles de confianza, específicamente:

- R = 93%
- R = 96%
- R = 97.7%

Esto con el propósito de determinar el valor de módulo resiliente de cada capa, dentro de un rango probable, de acuerdo con una estructura típica de pavimento (obtenida a partir de los sondeos a cielo abierto).

Para cada uno de los tramos definidos en la Tabla No.6.1, se derivó la estructura típica del pavimento, según se muestra en la Tabla No.6.2:

**Tabla No.6.2 Estructura típica del pavimento**

<b>TRAMO 1 Est: 6+134 a 7+100</b>		
<b>Capa</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Módulo resiliente (rango) (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Capa asfáltica</b>	20	35211-40493
<b>Base granular</b>	40	3732-4014
<b>Sub-base</b>	80	2394-2606
<b>Sub-rasante</b>	-	1056-1197

## 6.2 Sondeos a cielo abierto y análisis de laboratorio

Se complementó la evaluación en campo por medio de sondeos a cielo abierto. De estos sondeos se obtuvieron:

- Los espesores de las capas constitutivas del pavimento
- Muestras de las capas de base, sub-base y sub-rasante para análisis en el laboratorio
- La capacidad de soporte (CBR) de la sub-rasante
- Muestras para la evaluación de la condición actual de la carpeta (Capítulo 8).

En el capítulo 4 se muestra un resumen detallado de la información obtenida por medio de estos sondeos.

Esta información sirvió de base para el retrocálculo de módulos resilientes de las capas del pavimento existente y para los análisis de fatiga que posteriormente se realizaron.

## 6.3 Retrocálculo de módulos

En el Anexo 6.1 se detallan los análisis realizados (iteraciones) en este retrocálculo de módulos resilientes.

Los análisis se realizaron separadamente para cada tramo homogéneo, según deflectometría y a diferentes niveles de confianza, específicamente:

- R = 93%
- R = 96%
- R = 97.7%

Esto con el propósito de determinar el valor de módulo resiliente de cada capa, dentro de un rango probable, de acuerdo con una estructura típica de pavimento (obtenida a partir de los sondeos a cielo abierto).

Para cada uno de los tramos definidos en la Tabla No.6.1, se derivó la estructura típica del pavimento, según se muestra en la Tabla No.6.2:

**Tabla No.6.2 Estructura típica del pavimento**

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	35211-40493
Base granular	40	3732-4014
Sub-base	80	2394-2606
Sub-rasante	-	1056-1197

Tabla No.6.2 Estructura típica del pavimento (continuación)

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	28169-31690
Base granular	30	2606-2746
Sub-base	40	1901-2042
Sub-rasante	-	458-528

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	19366-22887
Base granular	30	1831-1972
Sub-base	35	1268-1338
Sub-rasante	-	387-458

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	12324-17606
Base granular	30	1690-1761
Sub-base	35	1268-1408
Sub-rasante	-	352-423

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	12324-17606
Base granular	30	1690-1761
Sub-base	35	1268-1408
Sub-rasante	-	352-423

Capa	Espesor (cm)	Módulo resiliente (rango) (kg/cm <sup>2</sup> )
Capa asfáltica	20	4930-6338
Base granular	30	1408-1549
Sub-base	35	986-1056
Sub-rasante	-	282-352

## 6.4 Análisis de fatiga en el pavimento existente

Para efectuar este análisis, se consideró el patrón de agrietamiento del pavimento, de acuerdo con la evaluación visual (Capítulo 2).

La tabla siguiente resume la condición de agrietamiento (medio a severo) en cada uno de los tramos homogéneos.

**Tabla No.6.3 Correlación deflexión-agrietamiento**

TRAMO	Deflex ( $x_p + 1.8 \sigma$ ) (1/100 mm)	% de Agrietamiento
1	27.2	8.8
2	50.4	8.6
3	69.8	9.9
4	73.0	26.4
5	73.6	16.1
6	106.5	4.2

Nótese que no hay correlación significativa entre las magnitudes de deflexión y el porcentaje de agrietamiento.

Para el análisis de fatiga se distribuyó el tránsito promedio diario, para diferentes niveles extremos de temperatura, de acuerdo con la siguiente distribución de módulos y de cargas por eje. Se tomaron en cuenta 6 diferentes condiciones de temperatura y se estimaron las magnitudes de carga, en ejes equivalentes, que se han aplicado sobre el pavimento, en cada condición de temperatura.

**Tabla No.6.4 Módulos y cargas aplicadas por condición de temperatura**

MODULOS (kg/cm <sup>2</sup> )		EEq (millones) <sup>(1)</sup>	Nivel de módulos
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>		
3521	3521	0.256	1
3521	7042	0.544	2
7042	10563	0.800	3
10563	14085	0.800	4
14085	17606	0.544	5
21127	24648	0.256	6

(1) Cantidad de carga de tránsito que pasó por el proyecto desde el período de construcción hasta la fecha de evaluación del pavimento.

E<sub>1</sub>: Módulo de la capa nueva que se colocó.

E<sub>2</sub>: Módulo de la capa asfáltica existente.

A partir de esta distribución se aplicó la ley de Miner, para determinar el consumo de fatiga en la capa nueva, que se colocó de 10 cm, y en la capa existente (evaluación a 20 cm de la superficie).

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos del consumo de fatiga en cada capa asfáltica (la existente y la que se colocó en la rehabilitación del proyecto).

Tabla 6.5.1 Consumo de fatiga en el pavimento existente.

<b>TRAMO 1</b>					
Nivel de módulo	Cargas aplicadas (8.2 ton)	Capacidad a Fatiga Capa nueva	% Fatiga	Capacidad a Fatiga Capa existente	% Fatiga
1	256000	5.53E+06	4.63	7.48E+06	3.42
2	544000	2.96E+08	0.18	5.02E+06	10.84
3	800000	5.33E+08	0.15	5.34E+06	14.98
4	800000	8.92E+08	0.09	5.90E+06	13.56
5	544000	1.38E+09	0.04	6.60E+06	8.24
6	256000	2.67E+09	0.01	8.37E+06	3.06
<b>TOTAL</b>			<b>5.1</b>	<b>TOTAL 54.1</b>	
<b>TRAMO 2</b>					
Nivel de módulo	Cargas aplicadas (8.2 ton)	Capacidad a Fatiga Capa nueva	% Fatiga	Capacidad a Fatiga Capa existente	% Fatiga
1	256000	7.17E+06	3.57	2.69E+06	9.52
2	544000	1.44E+09	0.04	2.03E+06	26.80
3	800000	1.49E+09	0.05	2.37E+06	33.76
4	800000	1.98E+09	0.04	2.82E+06	28.37
5	544000	2.63E+09	0.02	3.28E+06	16.59
6	256000	4.28E+09	0.01	4.29E+06	5.97
<b>TOTAL</b>			<b>3.7</b>	<b>TOTAL 121.0</b>	
<b>TRAMO 3</b>					
Nivel de módulo	Cargas aplicadas (8.2 ton)	Capacidad a Fatiga Capa nueva	% Fatiga	Capacidad a Fatiga Capa existente	% Fatiga
1	256000	8.29E+06	3.09	9.49E+05	26.98
2	544000	1.36E+10	0.00	8.41E+05	64.68
3	800000	3.50E+09	0.02	1.10E+06	72.73
4	800000	3.13E+09	0.03	1.38E+06	57.97
5	544000	3.44E+09	0.02	1.69E+06	32.19
6	256000	4.72E+09	0.01	2.38E+06	10.76
<b>TOTAL</b>			<b>3.2</b>	<b>TOTAL 265.3</b>	
<b>TRAMO 4</b>					
Nivel de módulo	Cargas aplicadas (8.2 ton)	Capacidad a Fatiga Capa nueva	% Fatiga	Capacidad a Fatiga Capa existente	% Fatiga
1	256000	8.17E+06	3.13	7.76E+05	32.99
2	544000	2.01E+10	0.00	7.13E+05	76.30
3	800000	3.71E+09	0.02	9.60E+05	83.33
4	800000	3.16E+09	0.03	1.22E+06	65.57
5	544000	3.39E+09	0.02	1.51E+06	36.03
6	256000	4.57E+09	0.01	2.19E+06	11.69
<b>TOTAL</b>			<b>3.2</b>	<b>TOTAL 305.9</b>	

**ANEXO 6.1**  
**RETROCALCULO DE MODULOS**

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	9000, 12000, 13000, 14000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	9000	0.0193	49.0
400000	32000	22000	12000	0.0159	40.4
400000	38000	23000	13000	0.0148	37.6
400000	42000	25000	14000	0.0139	35.3

	cm	pulg	Módulos usados
CA	25	9.84	400000, 425000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000
SR	0	0	14000, 15000, 15500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
400000	42000	25000	14000	0.0121	30.7
425000	44000	27000	15000	0.0113	28.6
400000	45000	28000	15000	0.0115	29.2
400000	46000	29000	15500	0.0112	28.4

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000, 425000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
SB	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
SR	0	0	9000, 12000, 13000, 14000, 15000 15500, 16500, 17000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	9000	0.0203	51.6
400000	32000	22000	12000	0.0164	41.6
400000	38000	23000	13000	0.0153	38.9
400000	42000	25000	14000	0.0144	36.6
425000	44000	27000	15000	0.0135	34.3
400000	45000	28000	15000	0.0136	34.5
400000	46000	29000	15500	0.0132	33.5
400000	48000	32000	16500	0.0126	32.0
425000	50000	34000	17000	0.0121	30.7

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

## ESPEORES

	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	6500	0.0229	58.2
400000	32000	22000	6500	0.0218	55.4
400000	38000	23000	6500	0.0212	53.8
400000	42000	25000	6500	0.0207	52.6

	cm	pulg	Módulos usados
CA	25	9.84	400000, 425000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
400000	42000	25000	6500	0.0183	46.5
425000	44000	27000	6500	0.0178	45.2
400000	45000	28000	6500	0.0179	45.5
400000	46000	29000	6500	0.0178	45.2

## ESPEORES

	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000, 425000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
SB	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	6500	0.0245	62.2
400000	38000	23000	6500	0.0228	57.9
425000	44000	27000	6500	0.0219	55.6
400000	46000	29000	6500	0.0219	55.6
425000	50000	34000	6500	0.0212	53.8

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	600000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	29000	20000	6500	0.0209	53.1
600000	32000	22000	6500	0.0204	51.8
600000	38000	23000	6500	0.0199	50.5
600000	42000	25000	6500	0.0195	49.5

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	22	8.66	600000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	42000	25000	6500	0.0180	45.7
600000	44000	27000	6500	0.0178	45.2
600000	45000	28000	6500	0.0176	44.7
600000	46000	29000	6500	0.0175	44.5

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	600000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
SB	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
SR	0	0	6500

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	29000	20000	6500	0.0244	62.0
600000	38000	23000	6500	0.0215	54.6
600000	44000	27000	6500	0.0209	53.1
600000	46000	29000	6500	0.0207	52.6
600000	50000	34000	6500	0.0202	51.3

**ESPESORES**

	cm	pulg	Módulos usados
<b>CA</b>	20	7.87	<b>600000</b>
<b>BG</b>	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
<b>SB</b>	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
<b>SR</b>	0	0	<b>9000, 12000, 13000, 14000, 15000</b> <b>15500, 16500, 17000</b>

<b>E1</b> <b>(psi)</b>	<b>E2</b> <b>(psi)</b>	<b>E3</b> <b>(psi)</b>	<b>E4</b> <b>(psi)</b>	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> <b>(pulg)</b>	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> <b>(mm*10<sup>-2</sup>)</b>
600000	29000	20000	9000	0.0183	<b>46.5</b>
600000	32000	22000	12000	0.0152	<b>38.6</b>
600000	38000	23000	13000	0.0141	<b>35.8</b>
600000	42000	25000	14000	0.0133	<b>33.8</b>
600000	44000	27000	15000	0.0126	<b>32.0</b>
600000	45000	28000	15000	0.0125	<b>31.8</b>
600000	46000	29000	15500	0.0122	<b>31.0</b>
600000	48000	32000	16500	0.0116	<b>29.5</b>
600000	50000	34000	17000	0.0113	<b>28.7</b>

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	600000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	29000	20000	4000	0.0279	70.9
600000	32000	22000	4000	0.0273	69.3
600000	38000	23000	4000	0.0267	67.8
600000	42000	25000	4000	0.0261	66.3

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	22	8.66	600000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	42000	25000	4000	0.0239	60.7
600000	44000	27000	4000	0.0235	59.7
600000	45000	28000	4000	0.0233	59.2
600000	46000	29000	4000	0.0231	58.7

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	600000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
SB	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	29000	20000	4000	0.0309	78.5
600000	32000	22000	4000	0.0304	77.2
600000	38000	23000	4000	0.0298	75.7
600000	42000	25000	4000	0.0294	74.7
600000	44000	27000	4000	0.0290	73.7
600000	45000	28000	4000	0.0289	73.4
600000	46000	29000	4000	0.0287	72.9
600000	48000	32000	4000	0.0284	72.1
600000	50000	34000	4000	0.0281	71.4

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

## ESPEORES

	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	4000	0.0301	76.5
400000	32000	22000	4000	0.0288	73.2
400000	38000	23000	4000	0.0281	71.4
400000	42000	25000	4000	0.0274	69.6

	cm	pulg	Módulos usados
CA	25	9.84	400000, 425000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
400000	42000	25000	4000	0.0242	61.5
425000	44000	27000	4000	0.0236	59.9
400000	45000	28000	4000	0.0236	59.9
400000	46000	29000	4000	0.0234	59.4

## ESPEORES

	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	350000, 400000, 425000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000, 44000 45000, 46000, 48000, 50000
SB	30	11.81	20000, 22000, 23000, 25000, 27000 28000, 29000, 32000, 34000
SR	0	0	4000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	4000	0.0332	84.3
400000	32000	22000	4000	0.0320	81.3
400000	38000	23000	4000	0.0313	79.5
400000	42000	25000	4000	0.0308	78.2
425000	44000	27000	4000	0.0302	76.7
400000	45000	28000	4000	0.0302	76.7
400000	46000	29000	4000	0.0301	76.5
400000	48000	32000	4000	0.0297	75.4
425000	50000	34000	4000	0.0292	74.2
300000	26000	17000	6000	0.0274	69.6
300000	26000	17000	6000	0.0288	73.2
350000	24000	15000	5000	0.0304	77.2
450000	24000	15000	5000	0.0291	73.9
45000	24000	15000	5500	0.0273	69.3
400000	24000	15000	5000	0.0297	75.4
400000	25000	16000	5500	0.0277	70.3
375000	25000	15000	5500	0.0281	71.4
350000	25000	15000	5500	0.0285	72.4
350000	24000	15000	5500	0.0286	72.6
330000	24000	15000	5500	0.0289	73.4

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPESORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	600000
BG	30	11.81	29000, 32000, 38000, 42000
SB	60	23.6	20000, 22000, 23000, 25000
SR	0	0	9000, 12000, 13000, 14000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	29000	20000	9000	0.0174	44.2
600000	32000	22000	12000	0.0146	37.1
600000	38000	23000	13000	0.0137	34.8
600000	42000	25000	14000	0.0128	32.5

ESPESORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	22	8.66	600000, 650000
BG	40	15.748	42000, 44000, 45000, 46000, 48000
SB	60	23.62	25000, 27000, 28000, 29000, 30000
SR	0	0	14000, 15000, 15500, 16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
600000	42000	25000	14000	0.0119	30.2
600000	44000	27000	15000	0.0113	28.7
600000	45000	28000	15000	0.0112	28.4
600000	46000	29000	15500	0.0110	27.9
650000	48000	30000	16000	0.0103	26.1

ESPESORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	8.66	650000
BG	40	15.748	48000
SB	60	23.62	30000
SR	0	0	16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
650000	48000	30000	16000	0.0108	27.4

ESPESORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	8.66	650000
BG	40	15.748	48000
SB	80	23.62	30000
SR	0	0	16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
650000	48000	30000	16000	0.0106	26.9

# RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	22	8.66	650000
BG	40	15.75	48000
SB	60	23.62	30000
SR		0	16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
650000	48000	30000	16000	0.0103	<b>26.16</b>

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	650000
BG	40	15.75	48000
SB	60	23.62	30000
SR		0	16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
650000	48000	30000	16000	0.0108	<b>27.43</b>

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	650000, 600000, 575000, 550000
BG	40	15.75	48000, 47000, 50000, 51000, 52000, 5500
SB	80	31.5	30000
SR		0	16000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
650000	48000	30000	16000	0.0106	<b>26.92</b>
550000	55000	30000	15500	0.0110	<b>27.94</b>
550000	55000	33000	15500	0.0108	<b>27.43</b>
600000	55000	32000	15500	0.0106	<b>26.92</b>
575000	55000	32000	15500	0.0107	<b>27.18</b>
650000	48000	30000	15500	0.0109	<b>27.69</b>
650000	47000	28000	15000	0.0112	<b>28.45</b>
600000	51000	30000	15500	0.0110	<b>27.94</b>
600000	50000	30000	15000	0.0113	<b>28.70</b>
575000	50000	30000	15000	0.0112	<b>28.45</b>
575000	50000	32000	15500	0.0110	<b>27.94</b>
575000	50000	32000	15000	0.0111	<b>28.19</b>
575000	50000	32000	14500	0.0113	<b>28.70</b>
550000	52000	32000	16000	0.0109	<b>27.68</b>
550000	50000	32000	16000	0.0109	<b>27.69</b>
550000	50000	32000	15500	0.0111	<b>28.19</b>
500000	55000	34000	16000	0.0109	<b>27.69</b>

RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA

ESPEORES	cm	pulg	Módulos usados
CA	20	7.87	625000
BG	40	15.75	48000
SB	60	23.62	28000
SR		0	15000

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
625000	46000	28000	15000	0.0116	<b>29.46</b>
625000	48000	29000	15000	0.0115	<b>29.21</b>
650000	48000	29000	15000	0.0114	<b>28.95</b>
650000	48000	30000	16000	0.011	<b>27.94</b>
650000	48000	30000	15000	0.0113	<b>28.70</b>
650000	48000	30000	15500	0.0111	<b>28.19</b>
550000	55000	32000	16000	0.011	<b>27.94</b>
550000	55000	30000	15500	0.0112	<b>28.45</b>

**ESPEORES**

	cm	pulg
<b>CA</b>	22	8.67
<b>BG</b>	30	11.81
<b>SB</b>	40	15.75
<b>SR</b>		0

<b>E1</b> (psi)	<b>E2</b> (psi)	<b>E3</b> (psi)	<b>E4</b> (psi)	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> (pulg)	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	29000	20000	9000	0.0192	<b>48.77</b>
350000	29000	20000	8000	0.0205	<b>52.10</b>
350000	29000	20000	7500	0.0213	<b>54.10</b>
375000	29000	20000	9000	0.0189	<b>48.01</b>
325000	29000	20000	9000	0.0195	<b>49.53</b>
325000	28000	19000	8000	0.0211	<b>53.59</b>

**ESPEORES**

	cm	pulg
<b>CA</b>	20	7.87
<b>BG</b>	30	11.81
<b>SB</b>	40	15.75
<b>SR</b>		0

<b>E1</b> (psi)	<b>E2</b> (psi)	<b>E3</b> (psi)	<b>E4</b> (psi)	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> (pulg)	<b>U<sub>z</sub>: z=0</b> (mm*10 <sup>-2</sup> )
350000	30000	20000	8000	0.0193	<b>49.02</b>
325000	28000	20000	7500	0.0226	<b>57.40</b>
350000	29000	20000	7500	0.0221	<b>56.13</b>
350000	30000	20000	7500	0.0200	<b>50.80</b>
350000	30000	20000	8000	0.0212	<b>53.85</b>
300000	24000	16000	5500	0.0286	<b>72.60</b>
275000	23000	14000	5000	0.0314	<b>79.75</b>
375000	32000	22000	6000	0.0243	<b>61.72</b>
100000	34000	23000	5500	0.0251	<b>63.75</b>
425000	35000	25000	5500	0.0245	<b>62.23</b>
450000	34000	27000	6000	0.0180	<b>45.72</b>
425000	36000	26000	6000	0.0231	<b>58.67</b>
450000	37000	27000	5500	0.0239	<b>60.71</b>
425000	36000	26000	6500	0.0220	<b>55.88</b>
425000	36000	26000	7000	0.0210	<b>53.34</b>
80000	19000	13000	5000	0.0421	<b>106.90</b>
75000	19000	13000	4500	0.0450	<b>114.30</b>
80000	20000	14000	4500	0.0436	<b>110.74</b>

**RETROCALCULO DE MODULOS: BARRANCA - ARIZONA**

ESPEORES	cm	pulg
CA	20	7.87
BG	30	11.81
SB	35	13.78
SR		0

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
30000	28000	19000	7000	0.0243	61.72
40000	24000	15000	5000	0.0295	74.93
40000	24000	15000	5500	0.0278	70.61
375000	24000	15000	5500	0.0281	71.37
400000	25000	16000	5500	0.0275	69.85
300000	25000	17000	6000	0.0269	68.33
300000	24000	16000	6000	0.0289	73.40
275000	26000	19000	5500	0.0287	72.90
275000	26000	19000	6000	0.0273	69.34
300000	26000	17000	5500	0.0284	72.14
275000	25000	16000	5500	0.0292	74.20
300000	26000	17000	5000	0.0301	76.45
275000	25000	16000	5500	0.0292	74.20
300000	24000	15000	5000	0.0307	77.98
300000	24000	15000	5500	0.0290	73.66
300000	23000	14000	5500	0.0294	74.68
275000	22000	13000	6000	0.0288	73.15
250000	22000	13000	6500	0.0281	71.37
175000	22000	13000	6500	0.0304	77.22
200000	22000	13000	6500	0.0295	74.93
250000	21000	13000	5000	0.0329	83.57
200000	20000	12500	4500	0.0369	93.73
150000	19000	12000	4500	0.0395	100.33
100000	19000	12000	4000	0.0458	116.33
100000	20000	13000	4000	0.0451	114.55
100000	20000	13000	4500	0.0424	107.69
100000	19000	12000	4500	0.0431	109.47
100000	19000	12000	5000	0.0409	103.88
90000	18000	12000	5000	0.0423	107.44
275000	26000	19000	5500	0.0287	72.90
300000	26000	17000	5500	0.0287	72.89

ESPEORES	cm	pulg
CA	20	7.87
BG	30	11.81
SB	32	12.6
SR		0

E1 (psi)	E2 (psi)	E3 (psi)	E4 (psi)	U <sub>z</sub> : z=0 (pulg)	U <sub>z</sub> : z=0 (mm*10 <sup>-2</sup> )
325000	26000	17000	6000	0.0269	68.34
300000	26000	17000	6000	0.0273	69.34
300000	26000	17000	5500	0.0287	72.89
425000	24000	15000	5500	0.0275	69.85

## **ANEXO 6.2**

# **ANALISIS DE FATIGA DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

**TRAMO 1**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
8.29	0.255	3.08%
9.96	0.544	5.46%
8.09	0.800	9.89%
8.16	0.800	9.80%
8.70	0.544	6.25%
10.30	0.255	2.49%
Total	3.199	30.97%

**TRAMO 2**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
2.69	0.255	9.48%
3.67	0.544	14.82%
3.36	0.800	23.81%
3.61	0.800	22.16%
3.90	0.544	13.74%
4.89	0.255	6.24%
Total	3.199	89.25%

**TRAMO 3**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
1.16	0.255	21.98%
1.79	0.544	30.39%
1.79	0.800	44.69%
1.97	0.800	40.61%
2.26	0.544	24.07%
3.00	0.256	8.53%
Total	3.199	170.28%

**TRAMO 4**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
1.18	0.255	21.61%
1.81	0.544	30.06%
1.79	0.800	44.69%
1.97	0.800	40.61%
0.94	0.544	57.87%
2.95	0.256	8.68%
Total	3.199	203.52%

**TRAMO 5**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
1.51	0.255	16.89%
4.14	0.544	13.14%
4.73	0.800	16.91%
5.62	0.800	14.23%
6.77	0.544	8.04%
9.55	0.256	2.68%
Total	3.199	71.89%

**TRAMO 6**

Capacidad de Fatiga (EEq*10 <sup>6</sup> )	EEeq. Aplicados (*10 <sup>6</sup> )	% Fatiga
1.52	0.255	16.78%
4.19	0.544	12.98%
4.73	0.800	16.91%
5.62	0.800	14.23%
6.77	0.544	8.04%
9.31	0.256	2.75%
Total	3.199	71.69%

**ANÁLISIS DE FATIGA**  
**FATIGA INICIAL- PAVIMENTO EXISTENTE**  
**BARRANCA-ARIZONA**

**TRAMO 1**

							4"	8"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (4")	e <sub>t</sub> = (8")	NF <sub>(4")</sub>	NF <sub>(8")</sub>
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)				
50000	50000	55000	34000	16000	2.50E-04	2.28E-04	5.53E+06	7.48E+06
50000	100000	55000	34000	16000	7.46E-05	2.15E-04	2.96E+08	5.02E+06
100000	150000	55000	34000	16000	5.21E-05	1.90E-04	5.33E+08	5.34E+06
150000	200000	55000	34000	16000	4.01E-05	1.71E-04	8.92E+08	5.90E+06
200000	250000	55000	34000	16000	3.26E-05	1.56E-04	1.38E+09	6.60E+06
300000	350000	55000	34000	16000	2.40E-05	1.33E-04	2.67E+09	8.37E+06

10 CA  
 10 CA  
 40 B  
 80 SB  
 0 SR

**TRAMO 2**

							4"	8"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (4")	e <sub>t</sub> = (8")	NF <sub>(4")</sub>	NF <sub>(8")</sub>
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)				
50000	50000	38000	28000	7000	2.31E-04	3.11E-04	7.17E+06	2.69E+06
50000	100000	38000	28000	7000	4.61E-05	2.83E-04	1.44E+09	2.03E+06
100000	150000	38000	28000	7000	3.81E-05	2.43E-04	1.49E+09	2.37E+06
150000	200000	38000	28000	7000	3.15E-05	2.14E-04	1.98E+09	2.82E+06
200000	250000	38000	28000	7000	2.68E-05	1.93E-04	2.63E+09	3.28E+06
300000	350000	38000	28000	7000	2.08E-05	1.63E-04	4.28E+09	4.29E+06

10 CA  
 10 CA  
 30 B  
 40 SB  
 0 SR

### TRAMO 3

							4"	8"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (4")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (4")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)				
50000	50000	26000	18000	6000	2.21E-04	4.27E-04	8.29E+06	9.49E+05
50000	100000	26000	18000	6000	2.33E-05	3.70E-04	1.36E+10	8.41E+05
100000	150000	26000	18000	6000	2.94E-05	3.07E-04	3.50E+09	1.10E+06
150000	200000	26000	18000	6000	2.74E-05	2.66E-04	3.13E+09	1.38E+06
200000	250000	26000	18000	6000	2.47E-05	2.36E-04	3.44E+09	1.69E+06
300000	350000	26000	18000	6000	2.02E-05	1.95E-04	4.72E+09	2.38E+06

cm

10 CA

10 CA

30 B

35 SB

0 SR

### TRAMO 4 Y 5

							4"	8"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (4")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (4")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)				
50000	50000	24000	17000	6000	2.22E-04	4.54E-04	8.17E+06	7.76E+05
50000	100000	24000	17000	6000	2.07E-05	3.89E-04	2.01E+10	7.13E+05
100000	150000	24000	17000	6000	2.89E-05	3.20E-04	3.71E+09	9.60E+05
150000	200000	24000	17000	6000	2.73E-05	2.76E-04	3.16E+09	1.22E+06
200000	250000	24000	17000	6000	2.48E-05	2.44E-04	3.39E+09	1.51E+06
300000	350000	24000	17000	6000	2.04E-05	2.00E-04	4.57E+09	2.19E+06

cm

10 CA

10 CA

30 B

35 SB

0 SR

### TRAMO 6

							4"	8"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (4")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (4")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)				
50000	50000	20000	15000	4600	2.17E-04	5.18E-04	8.80E+06	5.02E+05
50000	100000	20000	15000	4600	9.24E-06	4.34E-04	2.86E+11	4.98E+05
100000	150000	20000	15000	4600	2.44E-05	3.52E-04	6.47E+09	7.01E+05
150000	200000	20000	15000	4600	2.50E-05	3.01E-04	4.23E+09	9.18E+05
200000	250000	20000	15000	4600	2.34E-05	2.64E-04	4.11E+09	1.17E+06
300000	350000	20000	15000	4600	1.98E-05	2.15E-04	5.04E+09	1.72E+06

cm

10 CA

10 CA

30 B

40 SB

0 SR

**CAPACIDAD DE FATIGA-REFUERZO**  
BARRANCA-ARIZONA

**TRAMO 1**

								x1=4"	x1=5"	x1=6"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)						
50000	50000	57000	37000	16000	2.21E-04	2.25E-04	2.77E-04	8.29E+06	7.82E+06	3.94E+06
50000	100000	57000	37000	16000	2.09E-04	1.63E-04	1.37E-04	5.51E+06	1.25E+07	2.21E+07
100000	150000	57000	37000	16000	1.86E-04	1.33E-04	1.04E-04	5.72E+06	1.73E+07	3.88E+07
150000	200000	57000	37000	16000	1.67E-04	1.15E-04	8.65E-05	6.38E+06	2.18E+07	5.56E+07
200000	250000	57000	37000	16000	1.52E-04	1.02E-04	7.49E-05	7.19E+06	2.67E+07	7.38E+07
300000	350000	57000	37000	16000	1.30E-04	8.51E-05	6.04E-05	9.02E+06	3.64E+07	1.12E+08

cm	_____
x1	CA
10	CA
40	B
80	SB
0	SR

**TRAMO 2**

								x1=4"	x1=5"	x1=6"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)						
50000	50000	38000	28000	7000	3.11E-04	2.69E-04	2.47E-04	2.69E+06	4.34E+06	5.75E+06
50000	100000	38000	28000	7000	2.83E-04	1.99E-04	1.51E-04	2.03E+06	6.48E+06	1.61E+07
100000	150000	38000	28000	7000	2.43E-04	1.63E-04	1.19E-04	2.37E+06	8.84E+06	2.49E+07
150000	200000	38000	28000	7000	2.14E-04	1.40E-04	9.97E-05	2.82E+06	1.14E+07	3.48E+07
200000	250000	38000	28000	7000	1.93E-04	1.25E-04	8.69E-05	3.28E+06	1.37E+07	4.53E+07
300000	350000	38000	28000	7000	1.63E-04	1.04E-04	7.15E-05	4.29E+06	1.88E+07	6.45E+07

cm	_____
x1	CA
10	CA
30	B
40	SB
0	SR

**TRAMO 3**

								x1=4"	x1=5"	x1=6"
E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)						
50000	50000	28000	19000	6000	4.02E-04	3.17E-04	2.72E-04	1.16E+06	2.53E+06	4.19E+06
50000	100000	28000	19000	6000	3.52E-04	2.35E-04	1.68E-04	9.91E+05	3.75E+06	1.13E+07
100000	150000	28000	19000	6000	2.94E-04	1.91E-04	1.34E-04	1.27E+06	5.24E+06	1.68E+07
150000	200000	28000	19000	6000	2.57E-04	1.64E-04	1.13E-04	1.54E+06	6.77E+06	2.31E+07
200000	250000	28000	19000	6000	2.29E-04	1.46E-04	9.95E-05	1.87E+06	8.21E+06	2.90E+07
300000	350000	28000	19000	6000	1.89E-04	1.20E-04	8.14E-05	2.63E+06	1.17E+07	4.21E+07

cm	_____
x1	CA
10	CA
30	B
35	SB
0	SR

**TRAMO 4**

E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	x1=4"	x1=5"	x1=6"
								NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)						
50000	50000	25000	19000	5000	4.40E-04	3.15E-04	2.71E-04	8.60E+05	2.58E+06	4.24E+06
50000	100000	25000	19000	5000	3.80E-04	2.34E-04	1.67E-04	7.71E+05	3.80E+06	1.15E+07
100000	150000	25000	19000	5000	3.13E-04	1.91E-04	1.33E-04	1.03E+06	5.24E+06	1.73E+07
150000	200000	25000	19000	5000	2.70E-04	1.64E-04	1.13E-04	1.31E+06	6.77E+06	2.31E+07
200000	250000	25000	19000	5000	2.40E-04	1.46E-04	9.95E-05	1.60E+06	8.21E+06	2.90E+07
300000	350000	25000	19000	5000	1.97E-04	1.21E-04	8.16E-05	2.30E+06	1.14E+07	4.18E+07

cm	
x1	CA
10	CA
30	B
35	SB
0	SR

**TRAMO 5**

E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	x1=4"	x1=5"	x1=6"	x1=7"
									NF (8")	NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)								
50000	50000	21000	14500	5000	5.00E-04	3.71E-04	3.02E-04	2.65E-04	5.65E+05	1.51E+06	2.97E+06	4.56E+06
50000	100000	21000	14500	5000	4.23E-04	2.73E-04	1.87E-04	1.35E-04	5.42E+05	2.29E+06	7.95E+06	2.32E+07
100000	150000	21000	14500	5000	3.45E-04	2.19E-04	1.48E-04	1.08E-04	7.49E+05	3.34E+06	1.21E+07	3.42E+07
150000	200000	21000	14500	5000	2.95E-04	1.87E-04	1.26E-04	9.07E-05	9.81E+05	4.40E+06	1.61E+07	4.76E+07
200000	250000	21000	14500	5000	2.60E-04	1.64E-04	1.10E-04	7.92E-05	1.23E+06	5.60E+06	2.08E+07	6.14E+07
300000	350000	21000	14500	5000	2.12E-04	1.33E-04	8.95E-05	6.38E-05	1.80E+06	8.37E+06	3.08E+07	9.39E+07

cm	
x1	CA
10	CA
30	B
40	SB
0	SR

**TRAMO 6**

E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8)	e <sub>t</sub> = (8")	e <sub>t</sub> = (8")	x1=4"	x1=5"	x1=6"	x1=7"
									NF (8")	NF (8")	NF (8")	NF (8")
(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)	(Psi)								
50000	50000	21000	14500	4500	5.00E-04	3.70E-04	3.01E-04	2.64E-04	5.65E+05	1.52E+06	3.00E+06	4.62E+06
50000	100000	21000	14500	4500	4.23E-04	2.72E-04	1.86E-04	1.34E-04	5.42E+05	2.32E+06	8.09E+06	2.38E+07
100000	150000	21000	14500	4500	3.45E-04	2.19E-04	1.48E-04	1.07E-04	7.49E+05	3.34E+06	1.21E+07	3.53E+07
150000	200000	21000	14500	4500	2.95E-04	1.87E-04	1.26E-04	9.05E-05	9.81E+05	4.40E+06	1.61E+07	4.79E+07
200000	250000	21000	14500	4500	2.60E-04	1.64E-04	1.10E-04	7.91E-05	1.23E+06	5.60E+06	2.08E+07	6.17E+07
300000	350000	21000	14500	4500	2.12E-04	1.34E-04	8.98E-05	6.39E-05	1.80E+06	8.17E+06	3.05E+07	9.34E+07

cm	
x1	CA
10	CA
30	B
40	SB
0	SR

**Capítulo 5**

**Análisis de tránsito**

## 5. Análisis de Tránsito

El estudio de tránsito consta de dos etapas. al primera de la fecha de construcción de la obra hasta 1999 (fecha en que se hizo la evaluación del pavimento existente), la segunda corresponde a proyecciones de tránsito y de carga que cubren de 1999 hasta el año 2011 y 2014. El presente análisis se basa en los datos históricos de conteos de tránsito del MOPT.

La asignación de carga por tipo de vehículo se muestra en la Tabla No.5.1. Se hizo para los dos escenarios siguientes:

**Tabla No.5.1 Factor de carga por tipo de vehículo.**

Tipo de vehículo	Liviano	C.Liviano	Bus	C-2	C-3	T3-S2
Factor de carga (escenario 1)	0.0002	0.025	0.9	1.0	1.65	2.25
Factor de carga (escenario 2)	0.001	0.03	1.0	1.15	1.75	2.50

Con base en los datos históricos de tránsito se definieron también dos escenarios probables de composición del flujo vehicular, según se detalla en la Tabla No.5.2 a continuación:

**Tabla No.5.2 Composición del flujo vehicular**

Tipo de vehículo	Liviano	C.Liviano	Bus	C-2	C-3	T3-S2
Composición vehicular (escenario 1)	39	25	6	10	2	18
Composición vehicular (escenario 2)	42.5	29	5	8	1.5	14

Para este análisis de sensibilidad se incluyeron dos tasas de crecimiento vehicular: 5% y 7.5%.

Los resultados de este análisis se detallan en las tablas del anexo 5.1 de este capítulo.

En síntesis, para cada uno de los períodos de análisis propuestos, se obtiene como resultado los siguientes rangos de carga, en ejes equivalentes de 8200 kg:

- i- **Del período de construcción a la fecha de evaluación del pavimento: entre 2.8 y 3.3 millones de ejes equivalentes de 8.2 Ton**
- ii- **Las proyecciones de carga para el año 2011 están en el rango de 12.0 a 14.0 millones de ejes equivalentes.**

- iii- **Para el año 2014, el rango de carga probable oscila entre 17.0 y 20.0 millones de ejes equivalentes.**