



CONVENIO
CONSEJO NACIONAL DE VIALIDAD
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
RUTINARIO DE CARRETERAS**

**PROYECTO DE RECICLADO DE MEZCLA
ASFALTICA EN CALIENTE EN SITIO
CARRETERA BARRANCA - LA CRUZ
INFORME DE LABORATORIO**



**PROYECTO DE RECICLADO DE
MEZCLA ASFALTICA EN
CALIENTE EN SITIO**

CARRETERA BARRANCA - LA CRUZ

INFORME DE LABORATORIO

65.

Autores:

Ing. Mario Arce Jiménez

Ing. Pedro Castro Fernández, MBA, MSc

Ing. Oscar Martínez

Ing. Mauricio Salas

Quim. Luis Diego Moreira

Apoyo logístico:

Ing. Guillermo Loría

Raquel Arriola

Laura Ramírez

**PROYECTO DE RECICLADO DE MEZCLA
ASFALTICA EN CALIENTE EN SITIO**

CARRETERA BARRANCA-LA CRUZ

1. Alcance del estudio realizado

Con el propósito de tener una información más precisa, con respecto a la factibilidad técnica de realizar un trabajo de mantenimiento periódico en esta carretera, utilizando la tecnología de reciclado en caliente en sitio, se hizo un estudio de laboratorio, que comprende los siguientes aspectos:

- Sondeos a cielo abierto, para determinar el espesor de la capa asfáltica en el pavimento existente y para obtener muestras de la mezcla asfáltica, para su posterior análisis.
- En el laboratorio se evaluaron los siguientes parámetros de la mezcla existente:
 - Granulometría
 - Contenido de asfalto (utilizando diferentes métodos de extracción)
 - Viscosidad absoluta a 60°C
 - Curva de viscosidad versus temperatura
 - Límite superior de temperatura para el grado de desempeño SUPERPAVE (PG)
 - Envejecimiento en RTFO (película delgada en horno rotatorio)
 - Pérdida de masa en RTFO
 - Razón de viscosidades (viscosidad del ligante recuperado y envejecido en RTFO, respecto a la viscosidad del ligante recuperado)
- Adicionalmente, se hizo un análisis a las muestras del rejuvenecedor aportado y se mezcló éste con los asfaltos más envejecidos, recuperados a partir de los ensayos de extracción, para determinar su dosificación, a fin de que la combinación de asfalto envejecido y agente rejuvenecedor clasifique como un AC-30.

En los capítulos siguientes se resumen los resultados obtenidos.

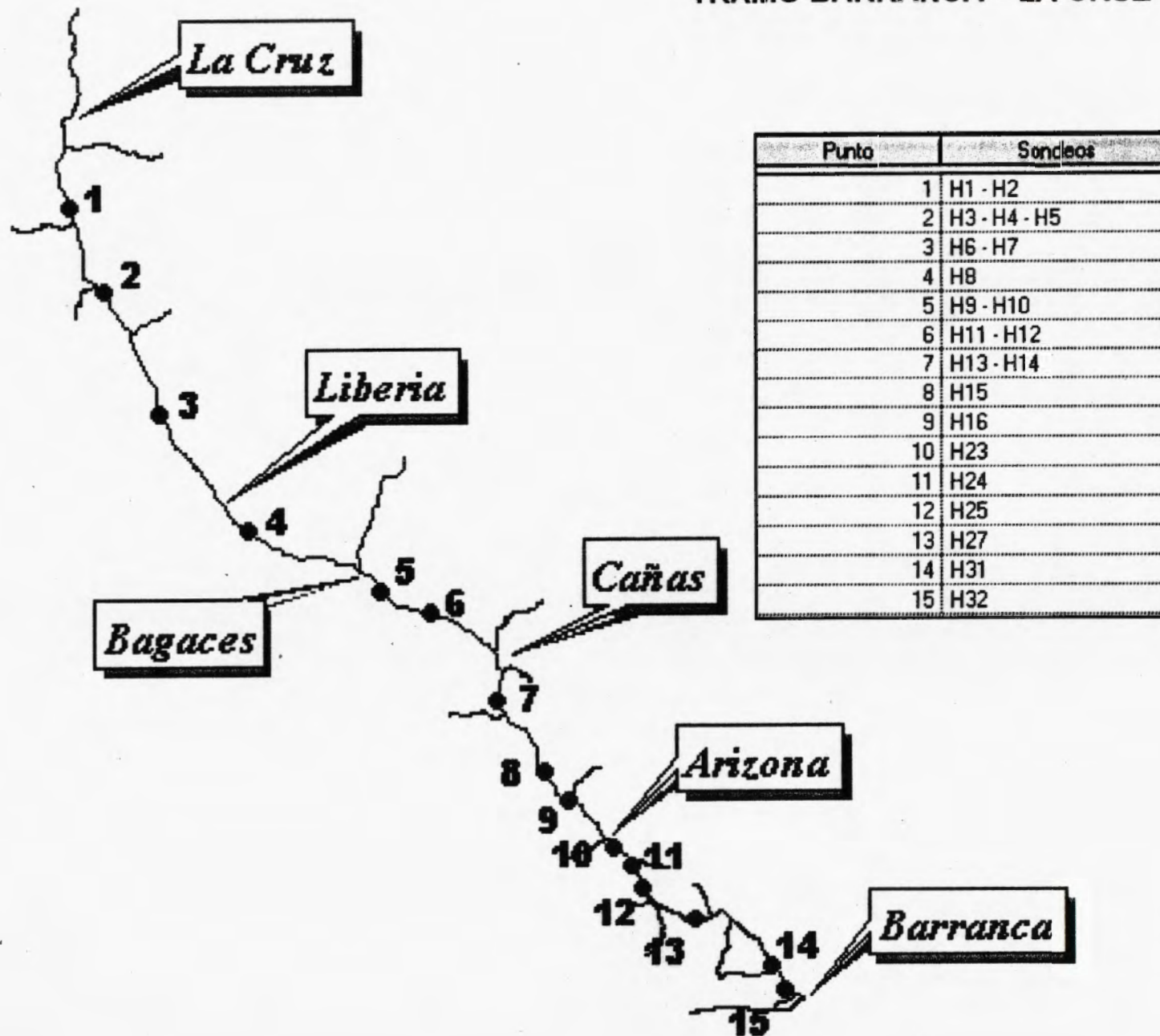
En la Tabla 1.1 se presenta la relación entre número de sondeo, número de muestra y tipo de agregado. En la Figura 1.1 se presenta el croquis con la ubicación de los sondeos.

Tabla 1.1 Relación entre número de sondeo, número de muestra y tipo de agregado

Número de sondeo	Número de muestra	Tipo de agregado en la mezcla
LIBERIA – LA CRUZ		
H-1	1575 / 1605	Original (material gris)
H-2	1598	Calizo (bacheo)
H-3	1573	Original (material gris)
H-4	1572 / 1593	Calizo (bacheo)
H-5	1581 / 1599	Original (material gris)
H-6	1576 / 1579	Calizo (bacheo)
H-7	1594 / 1600	Original (material gris)
ARIZONA – LIBERIA		
H-8	1578 / 1587	Chopo
H-9	1590 / 1604	Chopo
H-10	1582 / 1603	Calizo (bacheo)
H-11	1592 / 1602	Chopo
H-12	1588 / 1596	Calizo (bacheo)
H-13	1574 / 1589	Calizo (bacheo)
H-14	1577	Chopo
H-15	1583 / 1597	Calizo (bacheo)
H-15A	1580	Calizo (bacheo)
H-16	1585 / 1591	Chopo
BARRANCA – ARIZONA		
H-23	1689 / 1691	Textura lisa
H-24	1690	Textura rugosa
H-25	1682 / 1688	Textura rugosa
H-27	1687	Textura rugosa
H-31	1679	Textura lisa
H-32	1692	Textura rugosa

Figura 1.1 Croquis de ubicación de los sondeos.

TRAMO BARRANCA – LA CRUZ



2. Perfil de los sondeos realizados

En las siguientes figuras se presenta el perfil de la capa asfáltica en los diferentes sondeos realizados en la ruta Barranca-La Cruz. Se incluyen algunas acotaciones realizadas al momento del muestreo.

Debe considerarse que se han encontrado los siguientes tipos de materiales en la mezcla asfáltica muestreada:

- Liberia – La Cruz:
 - a) material gris (original)
 - b) material calizo (bacheo de varias etapas del PMR)

- Arizona – Liberia:
 - a) material calizo (bacheo del PMR)
 - b) material de chopo (material rojizo)

- Barranca – Arizona: agregado de los ríos Seco y Barranca, clasificado por:
 - a) textura lisa
 - b) rugosa (considerando textura lisa como aquella que corresponde a una altura media en el ensayo de la mancha de arena, menor a 20 centésimas de milímetro, y textura rugosa, aquella que corresponde a una altura media mayor a 80 centésimas de milímetro)

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

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-1

FECHA : 20-7-99

UBICACIÓN: Carril derecho hacia La Cruz. Mojón 286.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
12.0	CAPA ASFALTICA	Carpeta original. Concreto asfáltico, agrietamiento severo. Roderas moderadas.
	BASE GRANULAR	Piedra de río triturada.

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-2

FECHA : 20-7-99

UBICACIÓN: Carril derecho hacia Liberia. Mojón 278.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
5.0	SOBRE-CAPA	Bache calizo, zona muy deteriorada y con mucho bacheo. Colocado hace 3 años.
6.0	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Piedra de río triturada.

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-5

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: 2 Km después del Río Colorado. Carril izquierdo.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
5.0	SOBRE-CAPA	Carpeta vieja. Fisuramiento severo.
6.0	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-6 (bache calizo)

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: Después del Río Colorado, aproximadamente 1.5 Km frente baranda blanca.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
4.0	BACHE	Bache calizo, colocado hace 3 años. Area de bacheo moderado de 10 a 15%. Carpeta con fisuramiento moderado a severo, sin desprendimiento apreciable.
4.5	CAPA ASFALTICA	

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-3

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: 2 Km después del Río Colorado. Carril izquierdo.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
5.0	SOBRE-CAPA	Bache nuevo PMR (mwnor a 2 años) Sano.
8.0	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-4

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: 2 Km después del Río Colorado. Carril izquierdo.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
5.0	SOBRE-CAPA	Bache calizo sano, colocado hace 3 años.
8.0	CAPA ASFALTICA	

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: LIBERIA-LA CRUZ

SONDEO: H-7

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: Después del Río Colorado, aproximadamente 1.5 Km frente baranda blanca.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
4.0	SOBRE-CAPA	Carpeta original. Agrietamiento severo.
4.5	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: LIBERIA-BAGACES

SONDEO: H-8

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: Frente Mango-Tico. Carril derecho hacia Bagaces.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
6.0	BACHE	Carpeta de material de chocho (rojizo) Capa con agrietamiento severo y roderas. Deterioro completo sin desprendimiento. La segunda capa se pudo retirar pero completamente desintegrada.
6.0	CAPA ASFALTICA	

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

CARRETERA: BAGACES-CAÑAS

SONDEO: H-9

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: 300 m del Río Villa Vieja

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
 13.0	CAPA ASFALTICA	Ligeramente fisurado. Deformación moderada.
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo (material rojizo)

CARRETERA: BAGACES-CAÑAS

SONDEO: H-10

FECHA : 21-7-99

UBICACIÓN: 300 m del Río Villa Vieja

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
 13.0	CAPA ASFALTICA	Bache calizo, colocado hace 3 años. Ligeramente fisurado.

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: BAGACES-CAÑAS

SONDEO: H-11

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: 300 m del Puente Río Blanco. Carril derecho hacia Bagaces.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
5.0	SOBRE-CAPA	Carpeta de chopo (material rojizo) Cuero lagarto y agrietamiento severo. Roderas severas.
6.0	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: BAGACES-CAÑAS

SONDEO: H-12

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: 100 m del puente del Río Blanco. Carril derecho hacia Bagaces.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
12.0	CAPA ASFALTICA	Bache calizo, colocado hace 3 años. Carpeta asfáltica sana. Bache sano.
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo (material rojizo)

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA:

SONDEO: H-13

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: San Miguel-Cañas

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
7.0	BACHE	Bache de material calizo, colocado hace 3 años.
	CAPA ASFALTICA	Material rojizo (chopo).

CARRETERA:

SONDEO: H-14

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: San Miguel-Cañas.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
8.0	CAPA ASFALTICA	Material de chopo (color rojizo)
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo.

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: ARIZONA-LIMONAL

SONDEO: H-15

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: Bomba Limonal. Carril derecho hacia Cañas.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
12.0	CAPA ASFALTICA	Sano., recién colocada bastante uniforme en su acabado
	BACHE CALIZO	
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo.

CARRETERA: ARIZONA-LIMONAL

SONDEO: H-15-A

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: 500 m de la Irma hacia Limonal.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
14.0	CAPA ASFALTICA	Carpeta de chopo (material rojizo), con una capa de sello de más de 5 cm, colocada hace 1 año. Ligeramente fisurado.
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo.

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

CARRETERA: ARIZONA-LIMONAL

SONDEO: H-16

FECHA : 22-7-99

UBICACIÓN: 800 m Río Cañamazo hacia Limonal. Entrada Villa Perlita. Carril derecho.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
1.0	SOBRE-CAPA	Capa asfáltica delgada.
12.0	CAPA ASFALTICA	
	BASE GRANULAR	Agregados triturados del tajo el Chopo.

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-23

FECHA : 24-7-99

UBICACIÓN: Frente Rancho Nacas Colo. Carril izquierdo hacia Barranca.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
10.0	SOBRE-CAPA	Concreto asfáltico, sin grietas ni desprendimiento. Superficie de textura lisa con brillo.
10.0	CAPA ASFALTICA	

LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

DESCRIPCION DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-24

FECHA : 25-7-99

UBICACIÓN: Frente Finca San Rafael.

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
8.0	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, ligeramente fisurado. Superficie de textura rugosa y porosa. Desprendimiento de moderado a severo.
12.0	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-25

FECHA : 25-7-99

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

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
8.0	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Daño severo en carpeta. Inestabilidad de relleno, agrietamiento severo de la capa asfáltica. Desprendimiento severo y presencia de roderas.
10.0	CAPA ASFALTICA	

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

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-27

FECHA : 26-7-99

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

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
9.0	SOBRE-CAPA	Concreto asfáltico, fisurado. Superficie de textura rugosa. Roderas, agrietamiento y desprendimiento severos.
9.0	CAPA ASFALTICA	

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-31

FECHA : 28-7-99

**UBICACIÓN: 1 Km intersección a Puntarenas.
Carril izquierdo hacia Barranca.**

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
10.0	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Textura lisa. Roderas de moderadas a severas.
12.0	CAPA ASFALTICA	

3. Análisis de laboratorio

Se analizó la capa de rodamiento en el laboratorio, tal mezcla asfáltica sería la que se sometería al proceso de reciclaje en caliente en sitio (hay restricción en cuanto a la profundidad máxima a reciclar). Con estos análisis se pretende hacer una valoración preliminar de la variabilidad de las propiedades en los materiales que se encuentran a lo largo del proyecto, con el propósito de sustentar la factibilidad técnica del reciclado en caliente en sitio.

A continuación se describen los diferentes materiales analizados:

- **Tramo Barranca-Arizona:**

La capa asfáltica superior corresponde a una mezcla construida con agregados procedentes de fuentes de naturaleza similar (misma formación geológica), con algunas variantes en cuanto al diseño de mezcla (diferentes aditivos incorporados). El material de los baches no se analizó, pero es mezcla asfáltica de colocación muy reciente, por tanto, desde el punto de vista técnico, este material asfáltico es posible someterlo a un proceso de reciclado.

- **Tramo Arizona-La Cruz:**

En esta sección se analizaron los siguientes materiales:

- El chocho: mezcla asfáltica de color rojizo colocada a lo largo del tramo Arizona-Liberia (especialmente).
- Material calizo: material utilizado en la construcción de baches.
- Material gris: mezcla asfáltica construida con agregados de color grisáceo, colocado en el tramo Liberia-La Cruz.

En las siguientes secciones de este capítulo se presentan los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio realizados.

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

CARRETERA: BARRANCA-ARIZONA

SONDEO: H-32

FECHA : 28-7-99

**UBICACIÓN: Frente Planta tratamiento agua potable A y A.
 Carril izquierdo hacia Barranca.**

ESPESOR (cm)	CAPA	DESCRIPCION
10.0	SOBRE-CAPA ASFALTICA	Concreto asfáltico, fisurado. Superficie de textura abierta. Ahuellamiento leve. Zona con bacheo moderado. Desprendimiento de moderado a severo.
6.0	SOBRE-CAPA ASFALTICA	
12.0	CAPA ASFALTICA	

3.1. Resultados de contenido de asfalto y granulometría de la extracción.

Las muestras de mezcla asfáltica correspondientes a los proyectos Arizona – La Cruz y Barranca – Arizona fueron sujetas a un proceso de extracción del ligante asfáltico, aplicando los siguientes métodos:

- **Centrífuga.** Con el propósito de extraer y recuperar el ligante asfáltico de la mezcla, para su posterior evaluación; adicionalmente, este método permite la estimación de la granulometría y contenido de asfalto. Debe considerarse, sin embargo, que este procedimiento de extracción (por disolución del ligante asfáltico en tricloroetileno) puede arrojar resultados por debajo del contenido de asfalto real, en caso de que la absorción del agregado sea alta y no exista posibilidad de hacer la calibración del dispositivo (con una muestra de mezcla asfáltica con contenido de asfalto conocido y con el mismo tipo de agregado).
- **Reflujo.** Con el propósito de determinar la granulometría y contenido de asfalto; considerando, sin embargo, que el efecto de la absorción del agregado, sobre la estimación de contenido de asfalto con este método (por disolución en tricloroetileno), es similar al caso de la extracción con reflujo.
- **Ignición.** Con el propósito de determinar la granulometría y contenido de asfalto; considerando, sin embargo, que el efecto de la pérdida de masa del agregado con temperaturas altas puede determinar porcentajes de asfalto mayores al contenido real (se incluye el porcentaje de pérdida de masa del agregado), salvo que existe una constante de calibración para el agregado de la mezcla asfáltica a evaluar.

Nota: en varios casos se aplicaron diferentes métodos de extracción para una misma muestra, con el propósito de determinar un rango probable para el contenido de asfalto, dado que no se cuenta con la calibración para ninguno de los procedimientos de extracción.

Los resultados de contenido de asfalto y granulometría, para las diferentes muestras evaluadas, se presentan en las Tablas 3.1 y 3.2, para las muestras correspondiente a segmentos Arizona – La Cruz y Barranca – Arizona, respectivamente.

A partir de los resultados de dosificación para la mezcla asfáltica de Arizona – La Cruz, (Tabla 3.1) se plantean las siguientes observaciones.

- La mezcla asfáltica con agregado de chopo presenta un mayor contenido de asfalto por peso total de mezcla, que la mezcla asfáltica con material gris y material calizo. El promedio de contenido de asfalto, considerando los métodos de disolución (reflujo y centrífuga), es 5.62 % para la mezcla con material gris, 6.40 % para la mezcla con agregado calizo y 8.44 % con material de chopo.

Tabla 3.1 Propiedades generales de las muestras de mezcla asfáltica, Arizona La Cruz

Sondeo	H-1	H-3	H-5	H-2	H-4	H-4	H-4	H-10	H-2
Tipo de carpeta	Material gris	Material gris	Material gris	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza
Método	Centrífuga	Centrífuga	Reflujo	Centrífuga	Reflujo	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Reflujo
Contenido de Asfalto									
% de ceniza	2.5	2.7	-	0.6	2.8	2.8	2.7	-	0.6
% sobre mezcla	4.86	6.30	5.72	6.97	6.19	6.22	6.62	4.13	6.32
% sobre agregado	5.11	6.72	6.07	7.40	6.59	6.63	7.08	4.31	6.70
Granulometría									
25.00 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9.5 mm	77.4	67.0	57.0	89.6	88.6	86.8	73.0	85.3	82.7
4	53.8	54.0	46.0	64.6	72.8	71.0	59.0	67.6	59.7
8	42.5	43.0	36.0	42.2	43.6	42.6	45.0	40.7	39.6
50	17.2	17.4	14.8	12.1	12.3	11.5	17.7	12.7	11.4
200	8.2	8.7	7.3	7.6	8.3	7.6	8.5	8.6	7.0

Sondeo	H-15	H-15	H-15	H-15	H-11	H-11	H-14	H-14	H-14
Tipo de carpeta	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza	Chopo	Chopo	Chopo	Chopo	Chopo
Método	Centrífuga	Centrífuga	Reflujo	Ignición	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Reflujo
Contenido de Asfalto									
% de ceniza	-	-	-	-	1.37	1.37	-	-	-
% sobre mezcla	6.88	7.40	6.90	7.78	7.95	8.15	8.59	8.54	8.95
% sobre agregado	7.40	7.99	7.40	8.31	8.63	8.89	9.40	9.34	9.83
Granulometría									
25.00 mm	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9.5 mm	79.3	78.5	72.2	79.0	68.1	65.2	74.4	76.3	76.3
4	49.4	50.4	49.4	49.8	46.7	45.9	53.7	52.7	55.6
8	31.1	31.5	31.0	31.2	36.5	35.6	37.6	36.7	38.5
50	10.7	11.3	10.9	10.9	14.1	13.8	14.3	14.2	15.0
200	6.6	7.1	6.7	6.6	5.5	5.6	5.9	5.9	7.0

Tabla 3.2 Propiedades generales de las muestras de mezcla asfáltica, Barranca-Arizona

Sondeo	H-23	H-23	H-31	H-24	H-24	H-25	H-25	H-27	H-27	H-32	H-32
Tipo de carpeta	Textura lisa	Textura lisa	Textura lisa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa
Método	Ignición	Reflujo	Reflujo	Ignición	Reflujo	Ignición	Reflujo	Ignición	Reflujo	Ignición	Reflujo
Contenido de Asfalto											
% de ceniza	-	0.6	0.4	-	0.1	-	0.1	-	0.1	-	0.2
% sobre mezcla	7.48	5.80	5.25	6.34	5.49	5.74	3.90	6.23	4.88	5.99	5.1
% sobre agregado	8.10	6.16	5.54	6.78	5.82	6.11	4.07	6.66	5.13	6.38	5.38
Granulometría											
25.00 mm	100.0	100.0	100.0	-	100.0	-	100.0	-	-	-	100.0
9.5 mm	74.0	73.0	76.0	-	75.0	-	77.0	-	69.0	-	68.0
4	50.0	49.0	55.0	-	51.0	-	50.0	-	46.0	-	47.0
8	39.0	39.0	41.0	-	39.0	-	36.0	-	35.0	-	34.0
50	16.8	16.4	17.5	-	14.3	-	15.7	-	14.2	-	13.4
200	9.4	8.8	10.6	-	6.9	-	9.3	-	7.7	-	7.3

- Tanto la mezcla asfáltica con material gris, como la mezcla asfáltica con agregado calizo y la mezcla con material de chopo, presentan una elevada dispersión en contenido de asfalto. La desviación estándar para el contenido de asfalto, considerando los métodos de disolución (reflujo y centrífuga), es 0.72 % para la mezcla con material gris, 0.94 % para la mezcla con material calizo y 0.39 % para la mezcla con material de chopo.

Nota: un valor de desviación estándar, en el contenido de asfalto, de 0.40 % o más es considerado alto por la Asociación Americana de Oficiales de Transportes y Carreteras (AASHTO).

- La mezcla con material gris presenta contenidos de agregado fino (porcentajes pasando los tamices No. 8, No. 50 y No. 200) fuera de especificaciones (normativa MN-001-99, Sección 401 de las Especificaciones generales para construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica). La mezcla con agregado calizo y con agregado de chopo presenta un agregado residual con desviación, en algunos de los casos evaluados, de los rangos de especificación correspondientes (MN-001-99).
- Se nota un alto grado de variabilidad en la estructura granulométrica de todos los tipos de mezclas evaluadas. En el caso de la malla No. 4, por ejemplo, el porcentaje de agregado pasando se ubica entre 36.0 y 43.0 %, en el caso del material gris; entre 49.4 y 67.6 %, en el caso del agregado calizo; y entre 45.9 y 55.6 %, en el caso del agregado de chopo.

A partir de los resultados de dosificación para la mezcla asfáltica de Barranca - Arizona, (Tabla 3.2) se plantean las siguientes observaciones.

- Alta dispersión en el contenido de asfalto de las muestras evaluadas. En el caso de las muestras de pavimento con textura rugosa, por ejemplo, la desviación estándar en los contenidos de asfalto, determinados a partir de los ensayos de disolución (reflujo y centrífuga), es 0.68 %.
- Desviación de las especificaciones de granulometría de la MN-01-99, en la fracción de agregado fino (tamices No. 8, No. 50 y No. 200), especialmente en el caso de las mezclas de pavimento de textura superficial lisa.

3.2. Resultados del análisis del asfalto recuperado.

El ligante asfáltico recuperado en las extracciones por el método de la centrífuga fue sujeto de una evaluación detallada, con dos propósitos: a) caracterización del ligante asfáltico recuperado, y b) determinación preliminar del contenido de agente rejuvenecedor a incorporar en el proceso de reciclaje.

Los resultados de la caracterización del ligante asfáltico recuperado en las muestras de Arizona – La Cruz se presentan en la Tabla 3.3. Las siguientes observaciones aplican:

- La viscosidad absoluta del ligante asfáltico recuperado presenta una variabilidad considerable. La viscosidad absoluta a 60°C oscila entre 4200 y 310000 Poises, para el ligante asfáltico recuperado en las mezclas con material gris; entre 16000 y 38000 Poises, para el ligante recuperado en las mezclas con agregado calizo (de construcción más reciente); y entre 227000 y 370000 Poises para el ligante recuperado en las mezclas con agregado de chopo.
- La viscosidad cinemática a 125, 135 y 145°C presenta un patrón de variabilidad similar a la viscosidad absoluta a 60°C.
- Los ensayos de viscosidad evidencian un mayor grado de envejecimiento en el ligante asfáltico recuperado en la mezcla con agregado de chopo y con agregado gris, con respecto a la mezcla con agregado calizo (de aplicación más reciente). Adicionalmente, el nivel de dispersión es muy considerable (en todos los tipos de mezclas).
- El comportamiento reológico (grado de desempeño) sugiere un alto grado de dispersión entre los resultados de las mezclas evaluadas, así como un marcado efecto de rigidez en el ligante (asociado con un alto módulo de resistencia a la deformación plástica y un alto límite de temperatura por grado de desempeño – superior o igual a 70°C -).
- La razón de viscosidades (viscosidad absoluta a 60°C del asfalto recuperado y envejecido en horno rotatorio de película delgada –RTFO- respecto a la viscosidad absoluta a 60°C del asfalto recuperado) presenta una elevada dispersión y no es posible definir una diferencia radical entre las diferentes magnitudes para los diferentes tipos de mezclas evaluados.
- La magnitud de los porcentajes de pérdida de masa por calentamiento, para el ligante asfáltico recuperado, evidencia la poca susceptibilidad del ligante asfáltico recuperado a experimentar una pérdida de volátiles, adicional a la ya ocurrida durante su período de servicio en el sitio del proyecto. Adicionalmente, hay una considerable variabilidad en este parámetro.

Los resultados de la caracterización del ligante asfáltico recuperado en las muestras de Barranca - Arizona se presentan en la Tabla 3.4. Las siguientes observaciones son de consideración:

- La viscosidad absoluta del ligante asfáltico recuperado presenta una variabilidad considerable. La viscosidad absoluta a 60°C oscila entre 6612 y 11834 Poises, para el ligante asfáltico recuperado en las mezclas del pavimento de textura superficial lisa (menor contenido de vacíos en sitio, mayor contenido de agregado fino y mayor contenido de ligante asfáltico); y entre 18201 y 136672 Poises para el ligante recuperado en las mezclas del pavimento de textura rugosa.
- La viscosidad cinemática a 125, 135 y 145°C presenta un patrón de variabilidad similar a la viscosidad absoluta a 60°C.
- Los ensayos de viscosidad evidencian un mayor grado de envejecimiento en el ligante asfáltico recuperado en la mezcla del pavimento de textura superficial rugosa (que correlaciona con el mayor contenido de vacíos en sitio).

Tabla 3.3: Análisis del asfalto recuperado del pavimento, Arizona -La Cruz

Sondeo	H-1	H-3	H-15A	H-4	H-4	H-2	H-14	H-11
Tipo de agregado	Material gris	Material gris	Material gris	Caliza	Caliza	Caliza	Chopo	Chopo
Porcentaje de asfalto sobre la mezcla								
Reflujo	5.56	-	9.03	6.19	6.19	6.32	8.95	8.44
Centrifuga	4.86	-	8.99	6.20	6.20	6.79	8.57	8.05
Ignición	-	-	-	6.81	6.81	-	-	-
Asfalto extraído								
% de ceniza	2.50	2.65	1.50	2.8	2.74	0.60	1.24	1.37
V.absoluta 60 °C (P)	308794	41985	161856	15591	37699	21929	226648	369604
V.cinemática (P)								
125 °C	(1)	96	(1)	31	87	49	(1)	(1)
135 °C	364	44	201	15	39	23	(1)	(1)
145 °C	155	19	78	8	19	12	334	(1)
G*/Sen δ (kPa)								
58 °C	158.7	33.4	67.0	12.3	25.9	16.5	180.1	208.9
70 °C	100.5	12.6	53.0	3.1	11.2	5.7	169.6	191.9
82 °C	24.4	2.2	-	0.5	1.9	1.2	57.3	61.9
Grado de desempeño (PG)	> 82	> 82	> 82	70	82	76	> 82	> 82
Asfalto después de RTFOT								
% de ceniza	-	2.70	1.26	2.76	2.70	-	1.17	1.27
% de pérdida	-	0.24	0.22	0.36	0.19	-	0.04	0.50
V.absoluta 60 °C (P)	-	89716	661384	29718	81016	-	355266	930574
Razón de Viscosidades a 60°C	-	2.1	4.1	1.9	2.1	-	1.6	2.5
G*/Sen δ (kPa)								
58 °C	-	88.8	885.9	25.3	67.2	-	503.1	1587.8
70 °C	-	41.1	302.5	7.7	55.2	-	339.8	467.6
82 °C	-	6.8	65.9	1.0	8.7	-	125.1	114.6
Grado de desempeño (PG)	-	> 82	> 82	70	> 82	-	> 82	> 82

(1) Debido a la alta rigidez del ligante asfáltico a la temperatura que se indica, no fue posible medir la viscosidad con el viscosímetro rotacional (fuera de rango máximo).

Tabla 3.4: Análisis del asfalto recuperado del pavimento, Barranca-Arizona

Sondeo	H-23	H-31	H-24	H-25	H-27	H-32
Tipo de agregado	Textura lisa	Textura lisa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa	Textura rugosa
Porcentaje de asfalto sobre la mezcla						
Reflujo	5.80	5.25	5.49	3.90	-	-
Centrifuga	-	-	-	-	-	-
Troxler	7.48	-	6.34	5.74	-	-
Asfalto extraído						
% de ceniza	4.90	5.40	1.90	2.00	1.20	1.90
V.absoluta 60 °C (P)	6612	11834	18201	136672	52055	56309
V.cinemática (P)						
125 °C	15	31	31	151	66	76
135 °C	8	15	1	64	31	35
145 °C	4	8	8	29	15	17
G*/Sen δ (kPa)						
58 °C	3.9	7.4	14.8	102.5	45.8	47.8
70 °C	1.4	2.2	4.0	35.7	13.3	13.0
82 °C	0.3	0.4	0.7	6.0	2.3	2.2
Grado de desempeño (PG)	70	70	76	>82	>82	>82
Asfalto después de RTFOT						
% de ceniza	5.20	5.30	2.00	2.00	1.30	-
% de pérdida	0.59	0.33	0.38	0.34	0.34	-
V.absoluta 60 °C (P)	12586	27983	34686	186628	95142	-
Razón de Viscosidades a 60°C	1.9	2.4	1.9	1.4	1.8	-
G*/Sen δ (kPa)						
58 °C	9.4	20.6	30.4	124.8	89.6	-
70 °C	2.6	7.1	10.1	69.5	31.8	-
82 °C	0.3	1.0	1.4	10.5	5.4	-
Grado de desempeño (PG)	70	76	76	>82	>82	

(1) Debido a la alta rigidez del ligante asfáltico a la temperatura que se indica, no fue posible medir la viscosidad con el viscosímetro rotacional (fuera de rango máximo).

- El comportamiento reológico (grado de desempeño) sugiere un alto grado de dispersión entre los resultados de las mezclas evaluadas, así como un marcado efecto de rigidez en el ligante (asociado con un alto módulo de resistencia a la deformación plástica y un alto límite de temperatura por grado de desempeño – superior o igual a 70°C -).
- La razón de viscosidades (viscosidad absoluta a 60°C del asfalto recuperado y envejecido en horno rotatorio de película delgada -RTFO-, respecto a la viscosidad absoluta a 60°C del asfalto recuperado) es menor en el caso del ligante correspondiente a la mezcla de pavimento de textura rugosa (que presenta un aparente mayor estado de envejecimiento, respecto al ligante de la mezcla de pavimento de textura lisa), de manera que presenta una menor susceptibilidad al envejecimiento posterior (ya ha sufrido un más severo proceso de envejecimiento).

Las Figuras 3.1 y 3.2 se refieren a la evaluación de la aplicación de un 45 % de asfalto nuevo (residuo de base asfáltica en el agente rejuvenecedor), mezclado con un 55 % de asfalto reciclado, considerando el ligante asfáltico recuperado en la extracción correspondiente al sondeo H-14.

Las Figuras 3.3 y 3.4 se refieren a la evaluación de la aplicación de un 45 % de asfalto nuevo (residuo de base asfáltica en el agente rejuvenecedor), mezclado con un 55 % de asfalto reciclado, considerando el ligante asfáltico recuperado en la extracción correspondiente al sondeo H-7.

La determinación del contenido de agente rejuvenecedor se haría en la estimación teórica de la proporción de asfalto nuevo, con el propósito de lograr una viscosidad en el asfalto combinado de 3000±600 Poises (AC-30). Posteriormente se hace una evaluación del grado de desempeño superior (condición de deformabilidad plástica).

En general, se aprecia como la incorporación de agente rejuvenecedor, dosificado de tal manera que el residuo de su base asfáltica represente el 45 % del peso total del ligante asfáltico combinado (peso de la base asfáltica del agente rejuvenecedor más peso del ligante reciclado), permite obtener un ligante asfáltico combinado que clasifica como AC-30. Adicionalmente, el ligante asfáltico combinado clasifica como un PG 70, desde el punto de vista de resistencia a la deformabilidad plástica (límite de temperatura superior).

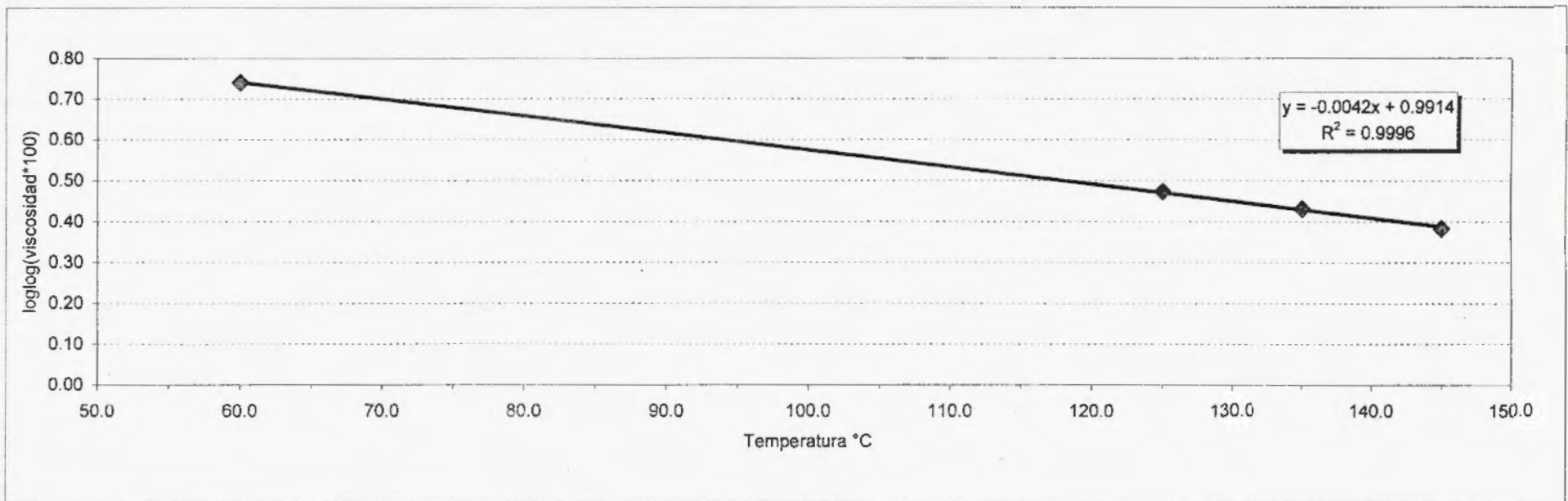
El 45% de asfalto nuevo se aplicó en el tramo Arizona-La Cruz, pues es el que presenta mayor envejecimiento; además se aplicó sobre muestras de asfalto recuperado viscosidad absoluta a 60 °C dentro de los mayores rangos de viscosidad encontrada en el muestreo, de manera que se evalúa la condición crítica encontrada en el muestreo realizado (mayor porcentaje de asfalto nuevo).

Las Figuras 3.5 y 3.6 permiten ampliar detalles en cuanto al tipo de base asfáltica del agente rejuvenecedor, el cual presenta características de suspensión de la base asfáltica (asfalto nuevo) en un medio acuoso, donde un ligante asfáltico AC-0.2 representa el 62 % del peso.

Figura 3.1: Curva viscosidad-temperatura, Muestra H-14 .
Asfalto recuperado (viscosidad de 226648 Poises) mezclado con 45% de rejuvenecedor

	Temperatura °C	Viscosidad	LogLog(v*100)
Viscosidad Dinámica 60 °C (poises)	60.0	3190.0	0.74
Viscosidad Dinámica 125 °C (poises)	125.0	9.5	0.47
Viscosidad Dinámica 135 °C (poises)	135.0	5.0	0.43
Viscosidad Dinámica 145 °C (poises)	145.0	2.6	0.38

Características del asfalto mezclado con 45% de rejuvenecedor	
Tipo de asfalto	AC-30
Grado de desempeño	76°C
Temperatura de mezclado	155±3°C
Pérdida de masa	1.46%
Razón de viscosidades (1)	2.7



(1) Razón de viscosidades =
$$\frac{\text{visc. Abs. a } 60\text{ }^{\circ}\text{C del asfalto inalterado}}{\text{visc. Abs. a } 60\text{ }^{\circ}\text{C del asfalto después de RTFO}}$$

Figura 3.2: Relación de temperatura-módulo de resistencia a la deformación plástica, muestra H-14. Asfalto recuperado mezclado con 45% de rejuvenecedor

	Temperatura °C	$G^*/\text{Sen}(\delta)$	$\text{LogLog}(G^*/\text{Sen} \delta) * 10000$
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 58 °C [kPa]	58.0	5.729	0.677500759
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 70 °C [kPa]	70.0	1.173	0.609519496
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 82 °C [kPa]	82.0	0.332	0.546683057

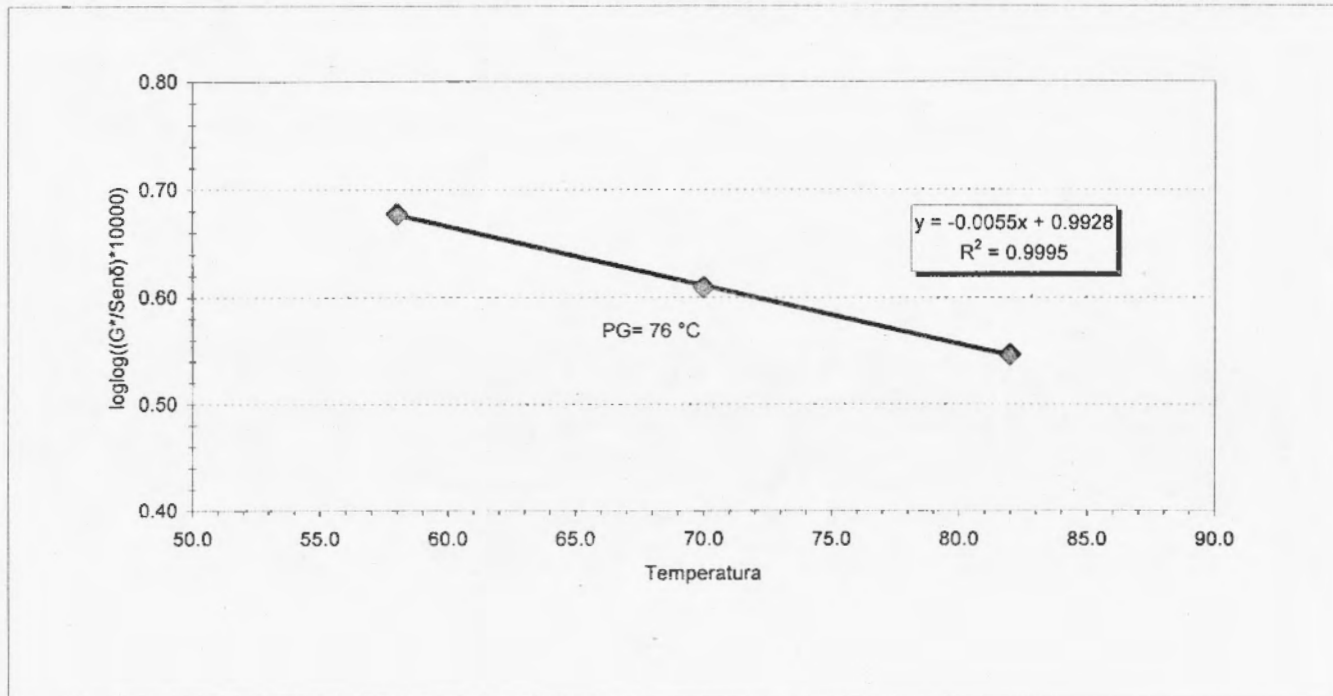
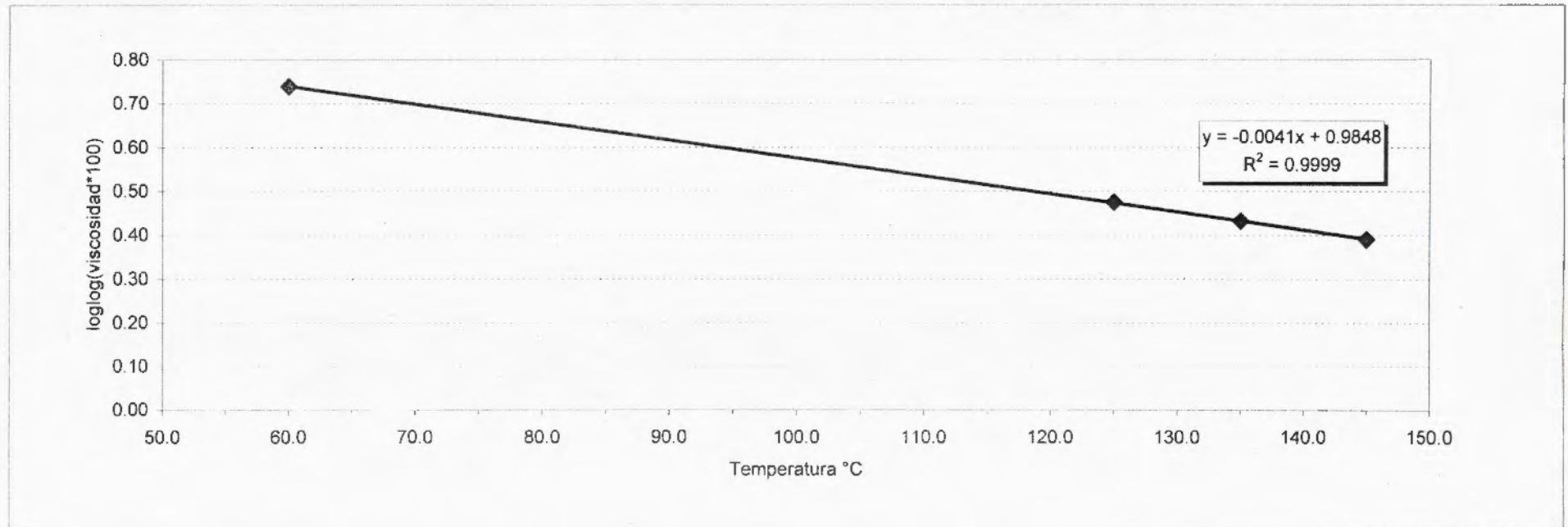


Figura 3.3: Curva viscosidad-temperatura, Muestra H-7.
Asfalto recuperado (viscosidad de Poises) mezclado con 45% de rejuvenecedor

	Temperatura °C	viscosidad	LogLog(v*100)
Viscosidad Dinámica 60 °C (poises)	60.0	3060	0.74
Viscosidad Dinámica 125 °C (poises)	125.0	9.78	0.48
Viscosidad Dinámica 135 °C (poises)	135.0	5.1	0.43
Viscosidad Dinámica 145 °C (poises)	145.0	2.9	0.39

Características del asfalto mezclado con 45% de rejuvenecedor	
Tipo de asfalto	AC-30
Grado de desempeño	70
Temperatura de mezclado	153±3°C
Pérdida de masa	1.72%
Razón de viscosidades (1)	3.6



(1) Razón de viscosidades =
$$\frac{\text{visc. Abs. a } 60^\circ\text{C del asfalto inalterado}}{\text{visc. Abs. a } 60^\circ\text{C del asfalto después de RTFO}}$$

Figura 3.4 : Relación temperatura-módulo de resistencia a la deformación plástica del asfalto, muestra H-7. Asfalto recuperado mezclado con 45% de rejuvenecedor

	Temperatura °C	G*/Sen(delta)	LogLog(G*/Sendelta)*10000)
G*/Sen(δ) a 58 °C [kPa]	58.0	5.036	0.672290542
G*/Sen(δ) a 70 °C [kPa]	70.0	1.838	0.629852385
G*/Sen(δ) a 82 °C [kPa]	82.0	0.738	0.587492794

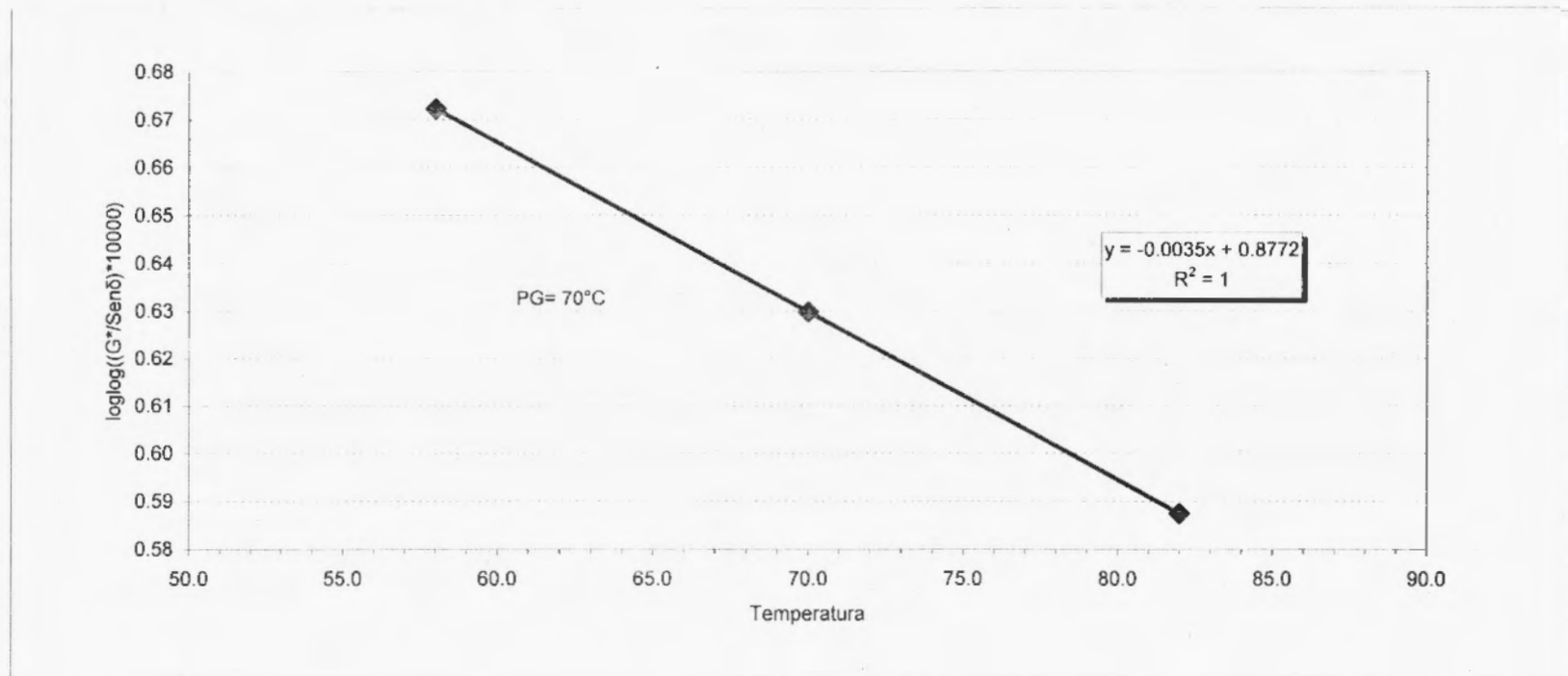


Figura 3.5: Curva viscosidad-temperatura del residuo asfáltico del rejuvenecedor .

	Temperatura °C	Viscosidad	ogLog(v*100)
Viscosidad Dinámica 60 (poises)	60.0	21.1	0.52
Viscosidad Dinámica 90 °C (poises)	90.0	3.7	0.41
Viscosidad Dinámica 125 °C (poises)	125.0	1.3	0.32

Características del rejuvenecedor	
Tipo de asfalto	
Grado dedesempeño	<58°C
Residuo asfáltico	62%
Medio de suspensión	acuoso

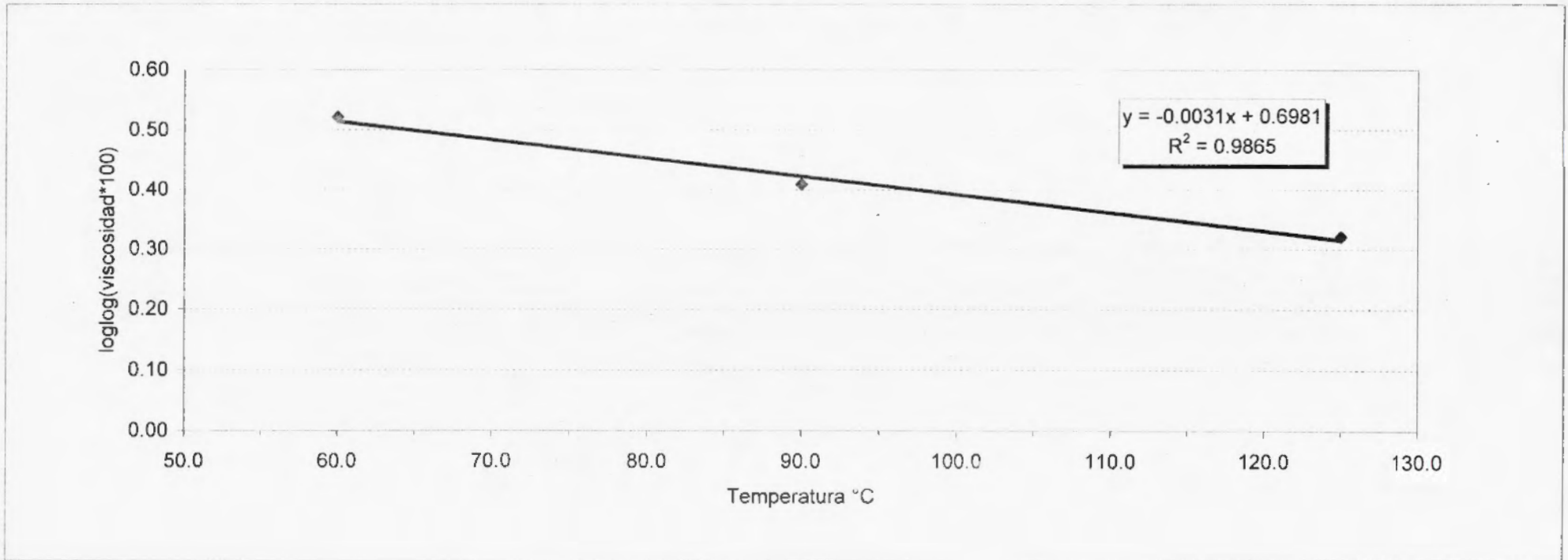
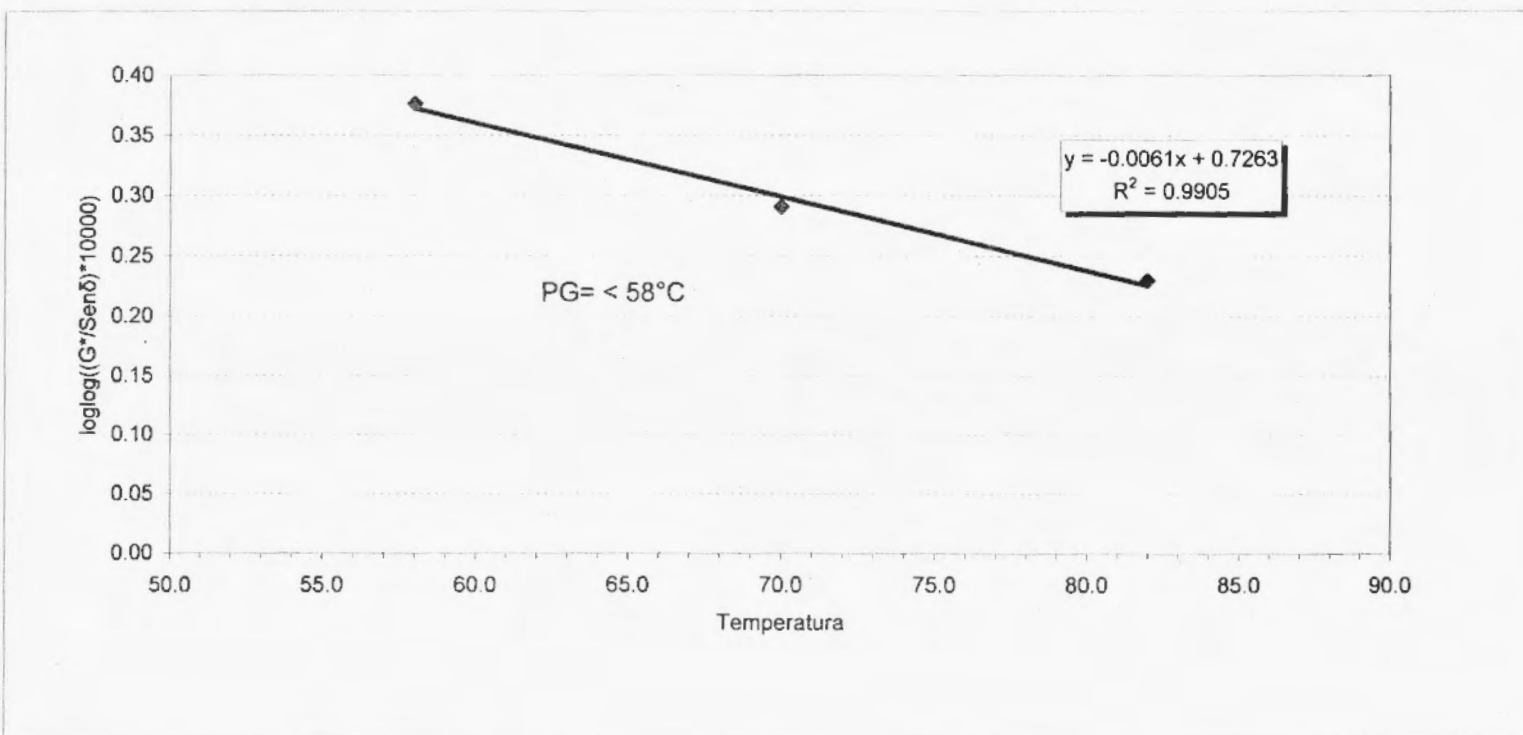


Figura 3.6: Relación temperatura-módulo de resistencia a al deformación plástica del residuo asfáltico del rejuvenecedor

	Temperatura °C	$G^*/\text{Sen}(\delta)$	$\text{LogLog}(G^*/\text{Sen}\delta)*10000$
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 58 °C [kPa]	58.0	0.024	0.376615502
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 70 °C [kPa]	70.0	0.009	0.290978456
$G^*/\text{Sen}(\delta)$ a 82 °C [kPa]	82.0	0.005	0.230185711



4. Ensayo Deflectométrico

4.1 Tramo Barranca-Arizona

En esta sección se realizaron medidas de deflexión con Viga Benkelman. Las mediciones se hicieron cada 100 metros y los resultados obtenidos se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 4.1 Deflexiones medidas en el carril derecho, para el tramo Barranca-Arizona

ESTACION	Deflexión Promedio (\bar{x})	Desviación Estandar (σ)	$\bar{x} + (1.5 * \sigma)$
0+100 a 4+400	31.2	13.4	51.3
4+500 a 10+500	26.1	16.3	50.5
10+600 a 16+500	34.3	11.0	50.8
16+600 a 22+600	53.5	25.3	91.4
22+700 a 29+100	46.4	15.1	69.0
29+200 a 35+100	44.3	12.9	63.6
35+200 a 38+900	42.4	13.9	63.2

Nota: Deflexiones corregidas por temperatura, en centésimas de milímetro.

Los resultados por estación se presentan a continuación, incluyendo la temperatura ambiental y la temperatura del pavimento (a 2 cm de la superficie).

**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	DEFLEXION	DEF.CORR.	TEMPER	TEMPER
	N0	mm*10-2	mm*10-2	PAVIM (° C)	AIRE (° C)
0+100	1	24	20	36	30
0+200	2	8	7	36	30
0+300	3	2	2	36	31
0+400	4	48	38	37	31
0+500	5	62	50	37	31.5
0+600	6	36	29	37	31.5
0+700	7	20	16	38	32
0+800	8	28	22	38	32
0+900	9	42	32	39	32
1+000	10	38	29	39	32
1+100	11	42	32	40	33
1+200	12	28	21	40	33
1+300	13	26	20	41	33
1+400	14	60	45	41	33
1+500	15	66	49	42	33
1+600	16	32	24	42	33
1+700	17	46	34	42	33
1+800	18	58	43	42	33
1+900	19	38	28	42	33
2+000	20	34	25	42	33
2+100	21	52	38	42	33
2+200	22	96	71	42	33
2+300	23	44	33	42	33
2+400	24	36	27	42	33
2+500	25	66	49	42	33
2+600	26	54	39	43	33
2+700	27	70	51	43	33
2+800	28	56	41	43	33
2+900	29	52	38	43	33
3+000	30	48	35	43	33
3+100	31	38	28	43	33
3+200	32	56	41	43	33
3+300	33	58	42	43	33
3+400	34	54	39	43	33
3+500	35	32	23	43	33
3+600	36	34	25	43	33
3+700	37	18	13	43	33
3+800	38	26	19	43	33
3+900	39	56	41	43	33
4+000	40	20	15	43	33
4+100	41	36	26	43	33
4+300	42	18	13	44	33
4+400	43	40	29	44	33

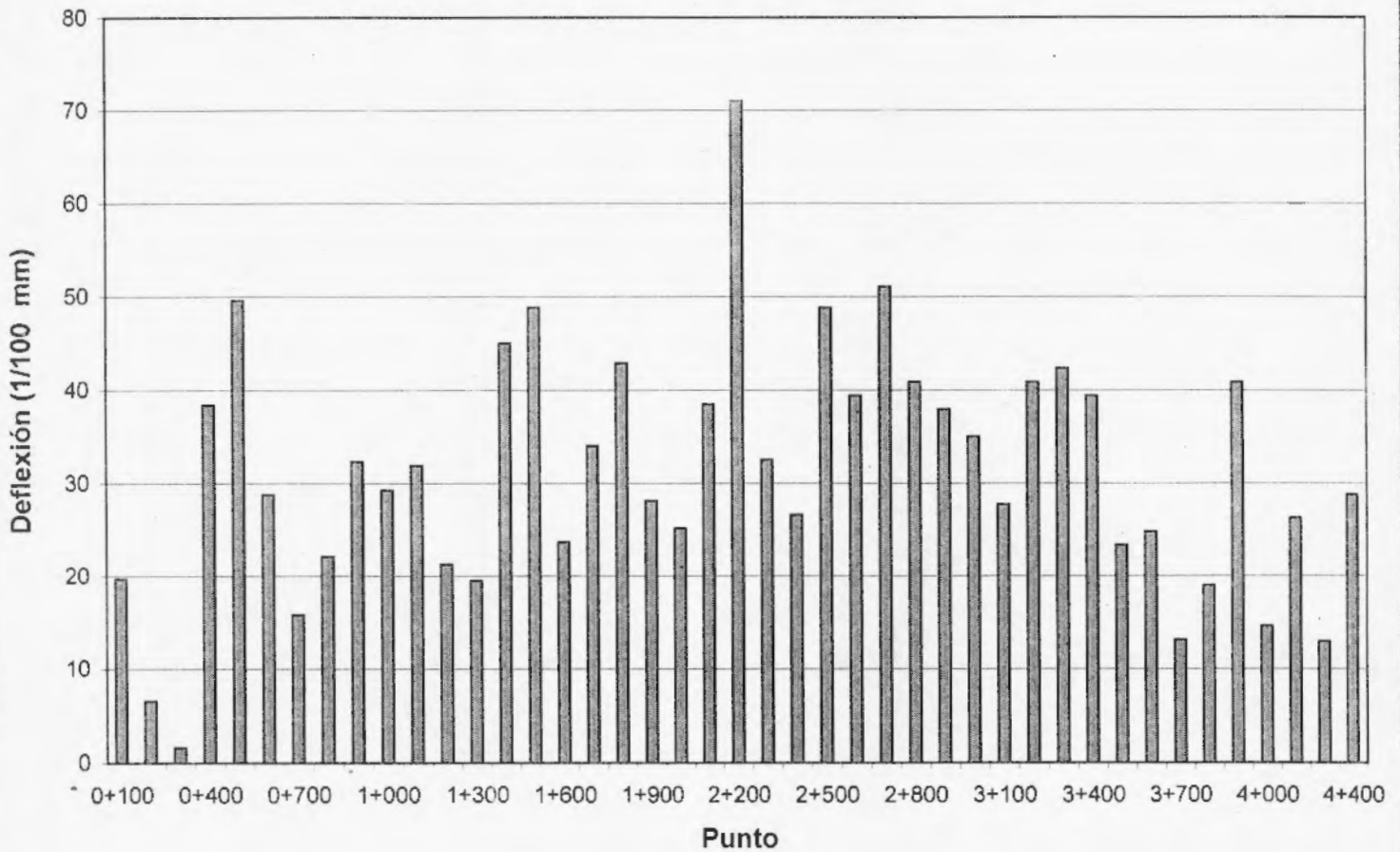
PROMEDIO (x): 31.18
 DESV. EST. (σ): 13.38

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

Est.: 0+100 a 4+400

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 31.18
 Desv.Est (σ) 13.38

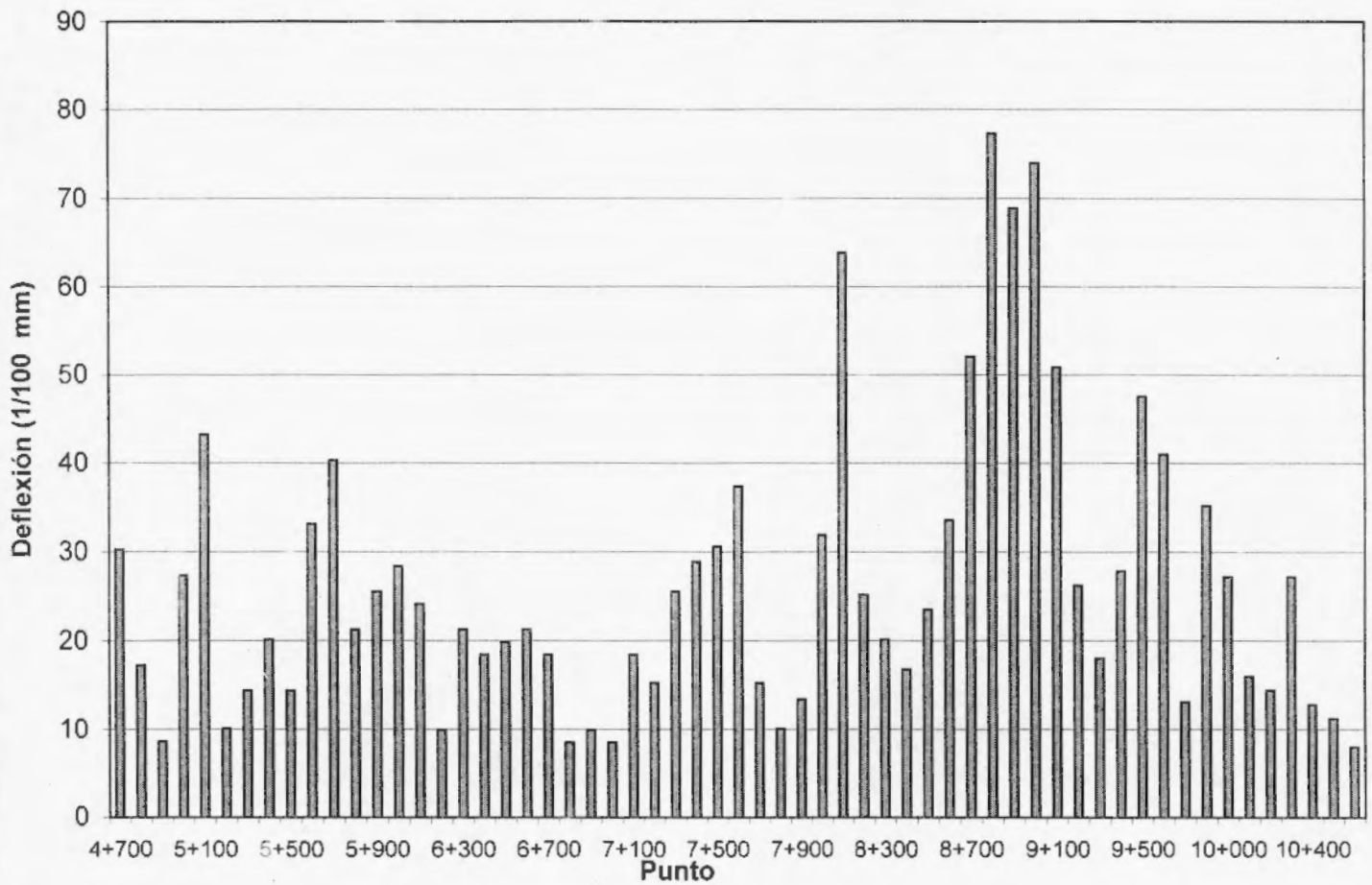
4+500	44	10	44	33
4+600	45	30	44	33
4+700	46	17	44	33
4+800	47	9	44	33
4+900	48	27	44	33
5+000	49	43	44	33
5+100	50	10	44	33
5+200	51	14	44	33
5+300	52	20	44	33
5+400	53	14	44	34
5+500	54	33	44	34
5+600	55	40	44	34
5+700	56	21	45	34
5+800	57	26	45	34
5+900	58	28	45	34
6+000	59	24	45	34
6+100	60	10	45	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
PROMEDIO (x):	26.06			
DESV. EST. (σ):	16.28			

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

Est.:4+500 a 10+500

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 26.06
Desv.Est (σ) 16.28

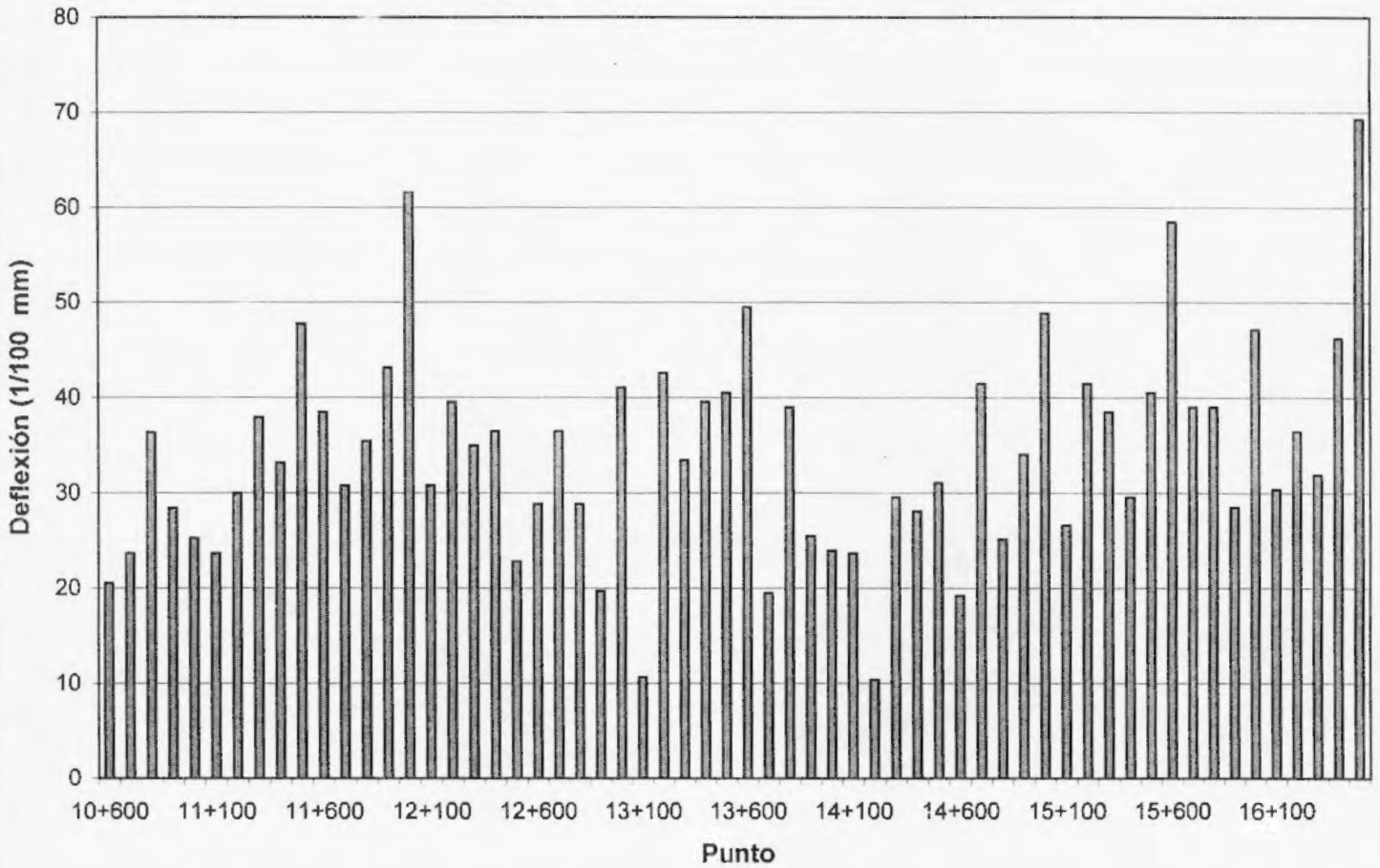
10+600	104	21	38	29
10+700	105	24	38	30
10+800	106	36	38	30
10+900	107	28	38	30
11+000	108	25	38	30
11+100	109	24	38	30
11+200	110	30	38	30
11+300	111	38	38	30
11+400	112	33	38	30
11+500	113	48	39	30
11+600	114	39	39	30
11+700	115	31	39	30
11+800	116	35	39	30
11+900	117	43	39	30
12+000	118	62	39	30
12+100	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			
DESV. EST. (σ):	11.04			

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

Est.: 10+600 a 16+500

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 34.25
 Desv.Est (σ) 11.04

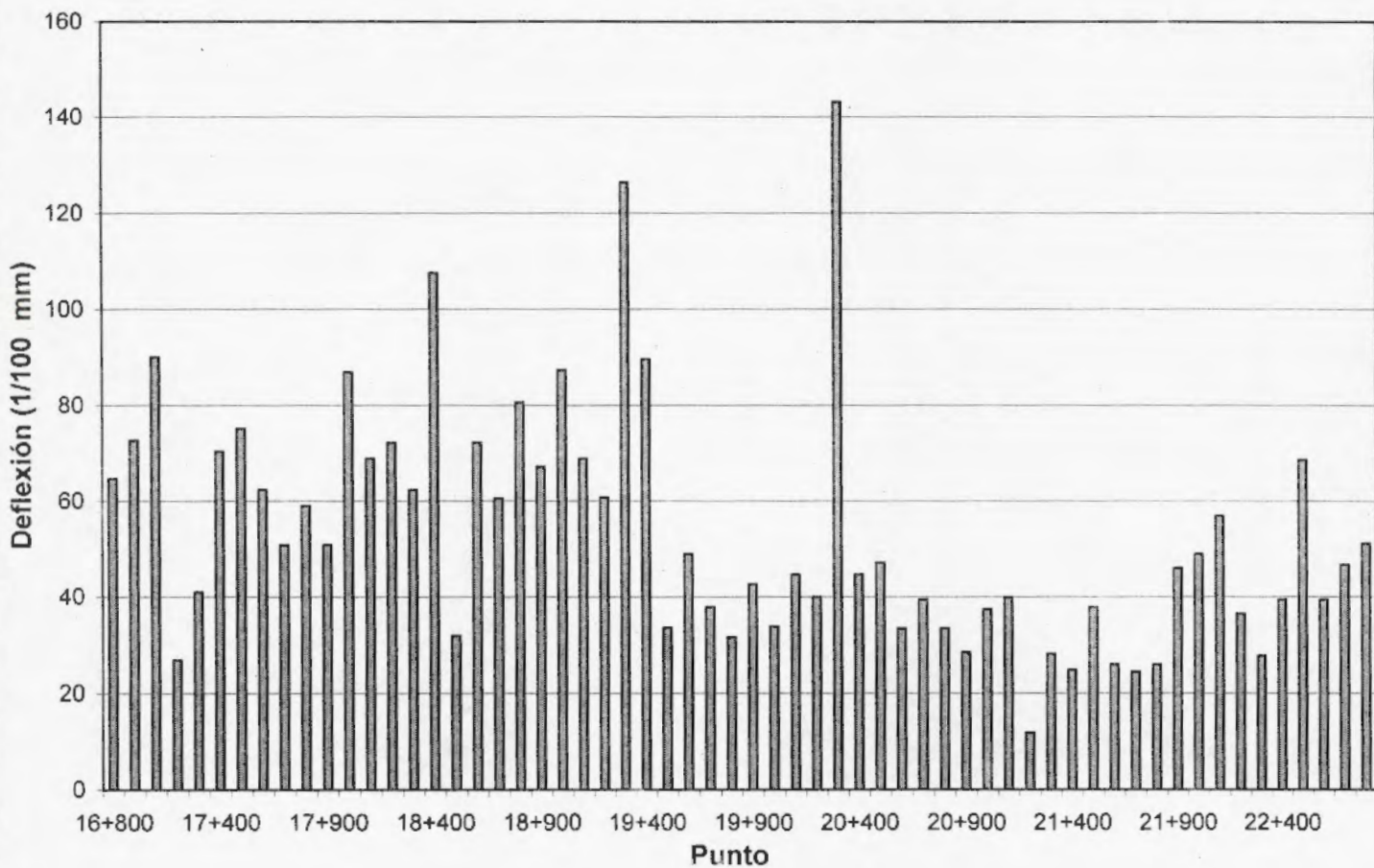
16+600	164	65	39	31
16+700	165	73	38	31
16+800	166	90	38	31
16+900	167	27	38	31
17+000	168	41	38	30
17+200	169	70	37	30
17+300	170	75	37	30
17+400	171	62	37	30
17+500	172	51	36	30
17+600	173	59	36	30
17+700	174	51	36	30
17+800	175	87	36	30
17+900	176	69	36	30
18+000	177	72	36	30
18+100	178	62	36	30
18+200	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
PROMEDIO (x):	53.48			
DESV. EST. (σ):	25.30			

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

Est.: 16+600 a 22+600

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 53.48
Desv.Est (σ) 25.30

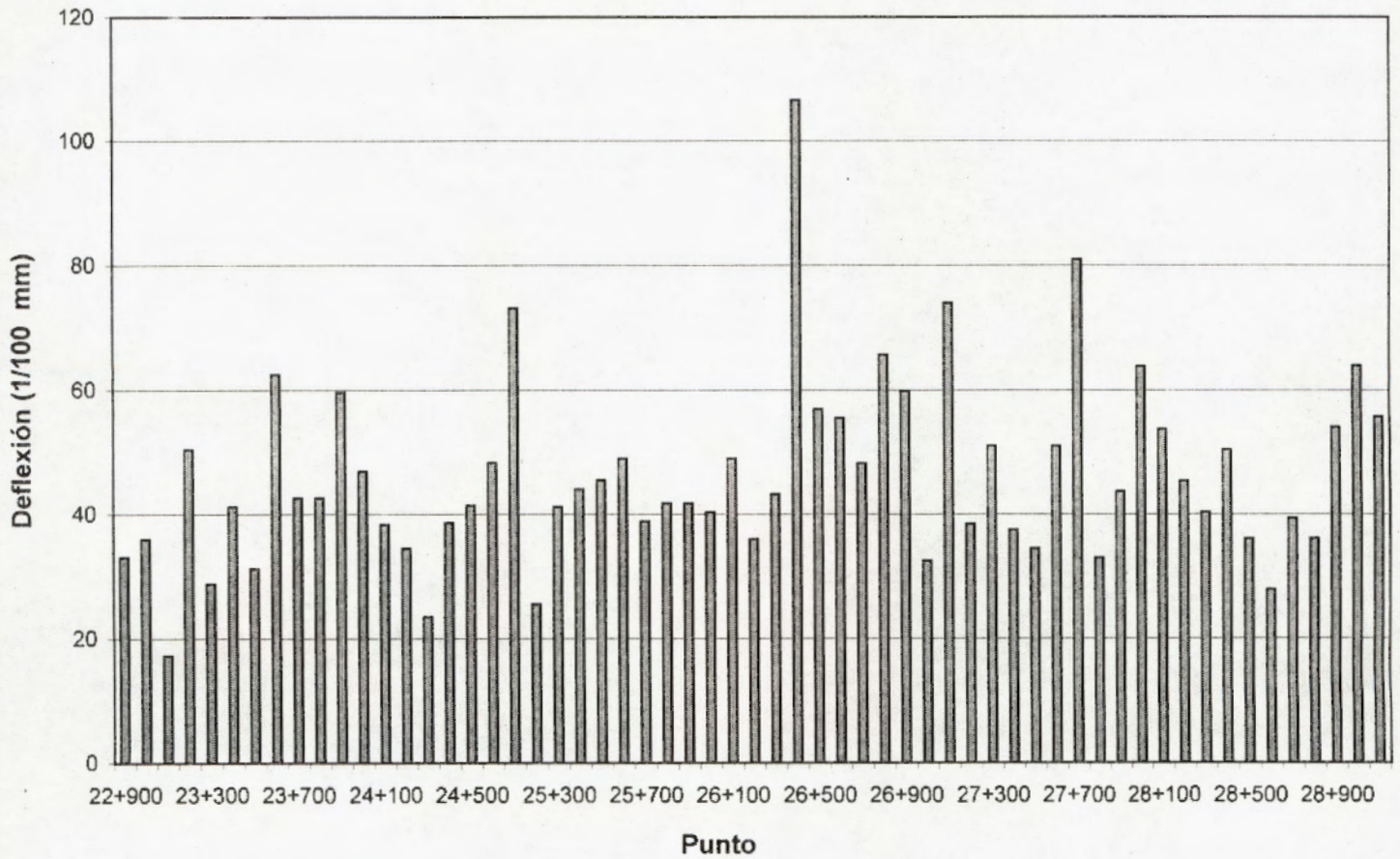
22+700	224	70	43	32
22+800	225	37	43	32
22+900	226	33	44	32
23+000	227	36	44	32
23+100	228	17	44	32
23+200	229	50	44	32
23+300	230	28	44	32
23+400	231	41	45	32
23+500	232	31	45	32
23+600	233	62	45	32
23+700	234	43	45	32
23+800	235	43	45	32
23+900	236	60	45	32
24+000	237	47	45	32
24+100	238	38	45	32
24+200	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
PROMEDIO (x):	46.38			
DESV. EST. (σ):	15.07			

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

Est.: 22+700 a 29+100

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 46.38
Desv.Est (σ) 15.07

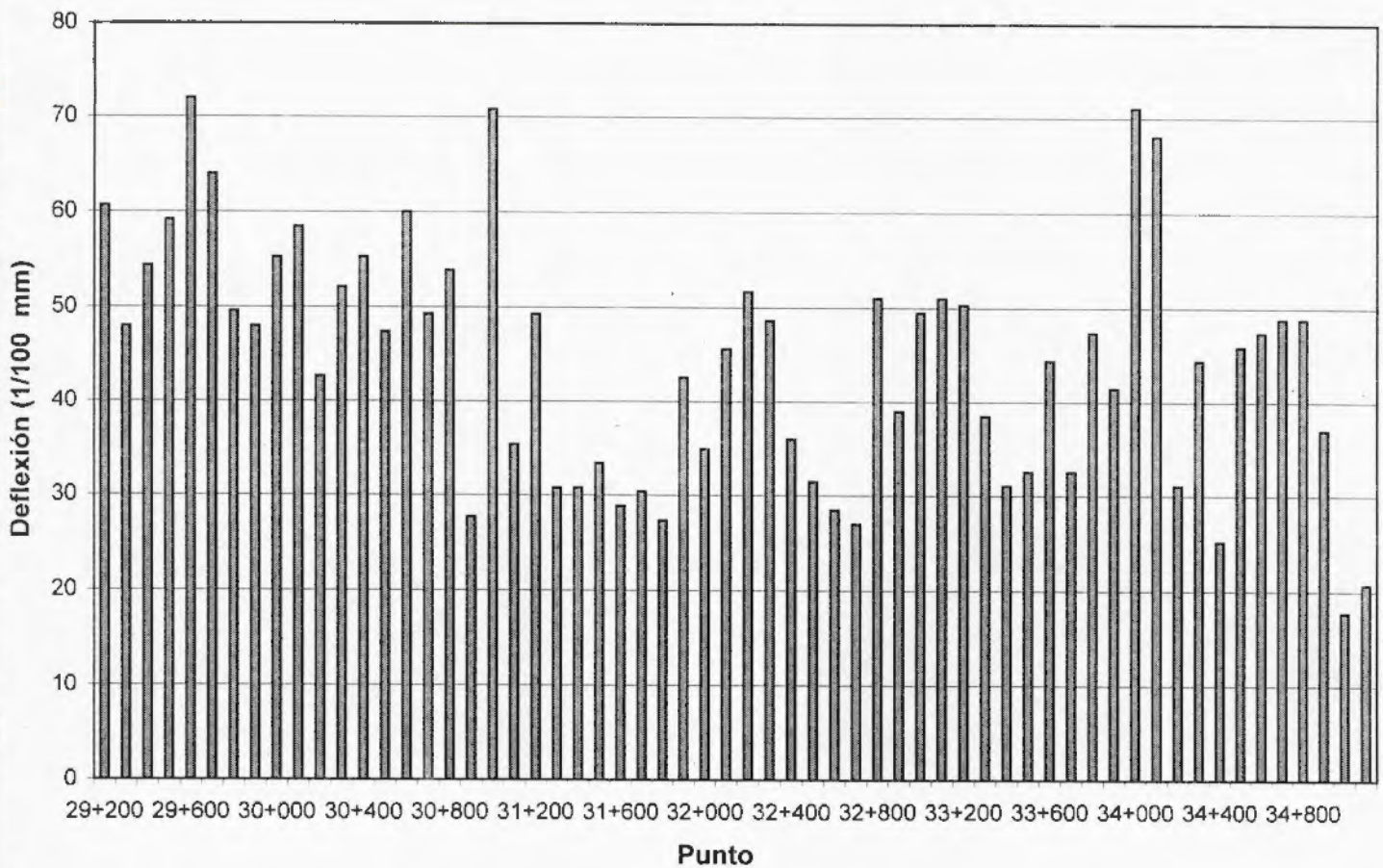
29+200	285	61	36	30
29+300	286	48	37	30
29+400	287	54	37	30
29+500	288	50	37	30
29+600	289	72	37	31
29+700	290	64	37	31
29+800	291	50	37	31
29+900	292	48	37	31
30+000	293	55	38	31
30+100	294	58	38	31
30+200	295	43	38	31
30+300	296	52	38	31
30+400	297	55	38	31
30+500	298	47	38	31
30+600	299	60	38	32
30+700	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**

Est.:29+200 a 35+100

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 44.28
Desv.Est (σ) 12.88

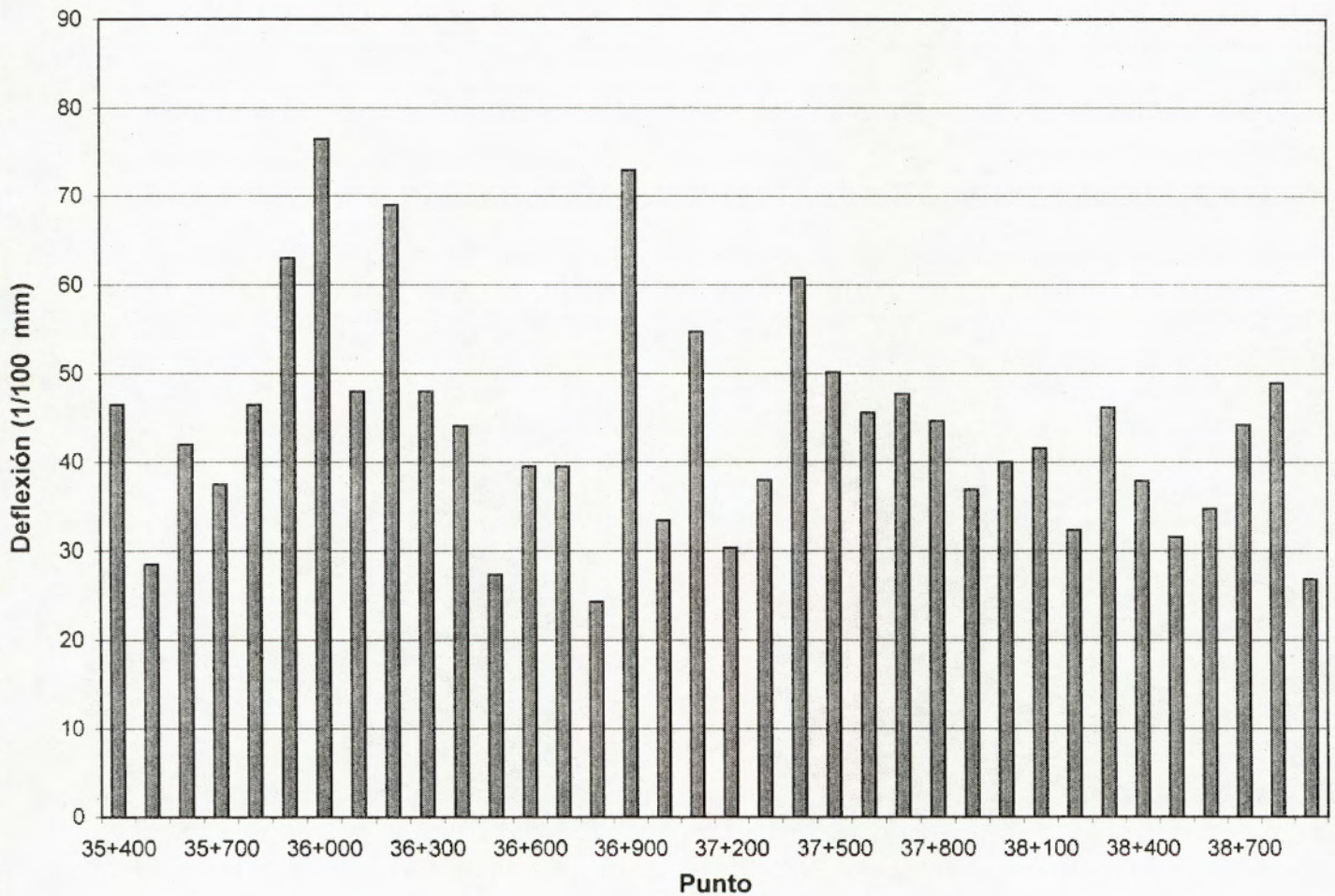
35+200	345	14	41	32
35+300	346	17	41	32
35+400	347	47	41	32
35+500	348	29	41	32
35+600	349	42	41	32
35+700	350	38	41	32
35+800	351	47	41	32
35+900	352	63	41	32
36+000	353	77	41	32
36+100	354	48	41	31
36+200	355	69	41	31
36+300	356	48	41	31
36+400	357	44	40	31
36+500	358	27	40	31
36+600	359	40	40	31
36+700	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 (x):	42.38			
DESV. EST. (σ):	13.85			

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

Est.: 35+200 a 38+900

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

PERFIL DE DEFLEXIONES



Promedio (\bar{x}) 42.38
 Desv.Est (σ) 13.85

4.2 Tramo Arizona-La Cruz

El procedimiento utilizado en esta sección consistió en ubicar siete tramos a lo largo de toda la carretera, desde Arizona hasta La Cruz (ruta #1). En cada tramo se escogieron sub-tramos de 1.5 km, de acuerdo con las partes más críticas de cada uno, sin que se realizaran medidas en baches colocados. Se ubicaron puntos cada 50 metros a lo largo de todo el kilómetro y medio, para realizar la prueba.

Los tramos ubicados en este trayecto son:

- Arizona – La Irma (sección de control #50000)
- La Irma – Cañas (sección de control #50010)
- Cañas – Bagaces (sección de control #50020)
- Bagaces – Liberia (sección de control #50030)
- Liberia – Irigaray (sección de control #50040)
- Irigaray – Tempisquito (sección de control #50040)
- Tempisquito – La Cruz (sección de control #50050)

Nota: El sub-tramo Liberia-Irigaray se separó en dos secciones homogéneas.

Los resultados se resumen en las tablas siguientes.

Tabla 4.2 Deflexiones medidas en el carril derecho, para el tramo Arizona-La Cruz.

Tramo	Deflexión Promedio (\bar{x})	Desviación Estandar (σ)	$\bar{x} + (1.5 * \sigma)$
Arizona-La Irma	79.6	20.1	109.7
La Irma-Cañas	86.0	17.4	112.1
Cañas-Bagaces	118.8	26.7	158.8
Bagaces-Liberia	93.5	22.4	127.1
Liberia-Irigaray	125.1	25.6	163.5
Liberia-Irigaray	76.9	24.5	113.7
Irigaray-Tempisquito	121.3	35.5	174.6
Tempisquito-La Cruz	96.0	24.0	132.0

Nota: Deflexiones en centésimas de milímetro.

Los resultados por estación y por tramo de estudio se presentan a continuación.

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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Arizona - La Irma
 SENTIDO: Arizona - La Irma
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 28-Jul-99

ESTACION	PUNTO Nº	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	82	36	30
0+ 50	2	56	36	30
0+ 100	3	80	36	30
0+ 150	4	90	36	30
0+ 200	5	76	36	30
0+ 250	6	68	36	30
0+ 300	7	62	37	30
0+ 350	8	86	37	30
0+ 400	9	80	37	30
0+ 450	10	66	37	30
0+ 500	11	64	37	30
0+ 550	12	104	37	30
0+ 600	13	98	37	31
0+ 650	14	88	38	31
0+ 800	15	52	38	31
0+ 850	16	90	38	31
0+ 900	17	104	38	31
0+ 950	18	102	38	31
0+ 000	19	122	38	31
0+ 50	20	68	38	31
1+ 100	21	78	39	31
1+ 150	22	102	39	31
1+ 200	23	104	39	31
1+ 250	24	78	39	31
1+ 300	25	72	39	31
1+ 350	26	98	39	31
1+ 400	27	30	40	31
1+ 450	28	54	40	31
1+ 500	29	78	40	31
1+ 550	30	56	40	31.4

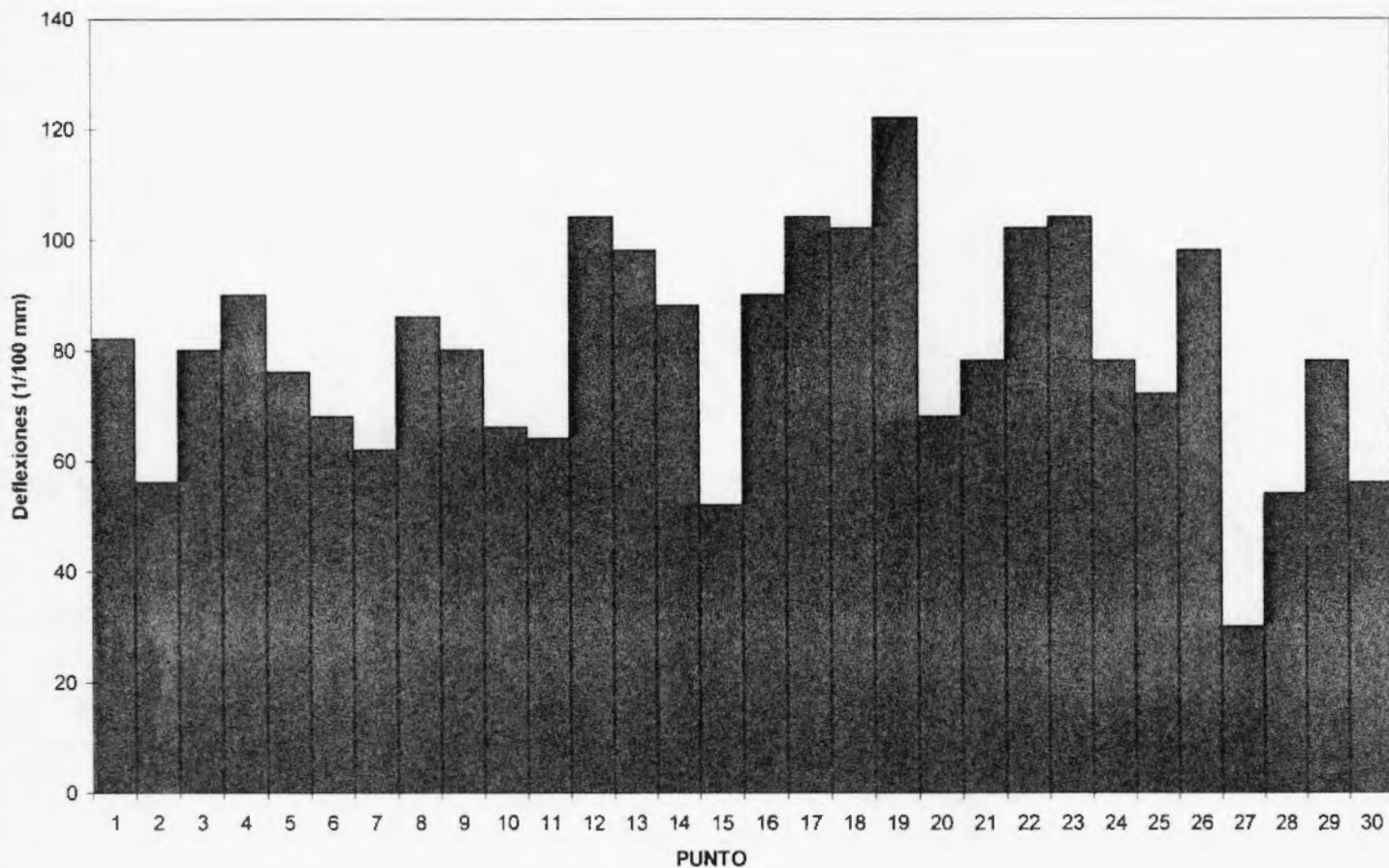
PROMEDIO (D): 79.60
 DESV. EST. (σ): 20.06

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

PUTA Noº: 1

TRAMO: Arizona - La Irma
SENTIDO: Arizona - La Irma
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



**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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: La Irma - Cañas
 SENTIDO: La Irma - Cañas
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 28-Jul-99

ESTACION	PUNTO N ^o	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	88	43	34
0+ 50	2	90	43	34
0+ 100	3	84	43	34
0+ 150	4	68	43	34
0+ 200	5	62	43	34
0+ 250	6	84	43	34
0+ 300	7	62	44	34
0+ 350	8	102	44	34
0+ 400	9	122	44	34
0+ 450	10	114	44	34
0+ 500	11	90	44	35
0+ 550	12	84	45	35
0+ 600	13	76	45	35
0+ 650	14	82	45	35
0+ 700	15	84	45	35
0+ 750	16	52	46	35
0+ 800	17	80	46	35
0+ 850	18	74	46	35.4
0+ 900	19	82	46	36
0+ 950	20	76	46	36
1+ 000	21	68	47	36
1+ 50	22	74	47	36
1+ 100	23	100	47	36
1+ 150	24	96	47	36
1+ 200	25	100	47	36
1+ 250	26	102	47	36
1+ 300	27	82	47	36
1+ 350	28	100	48	36
1+ 400	29	128	48	36
1+ 450	30	74	48	36

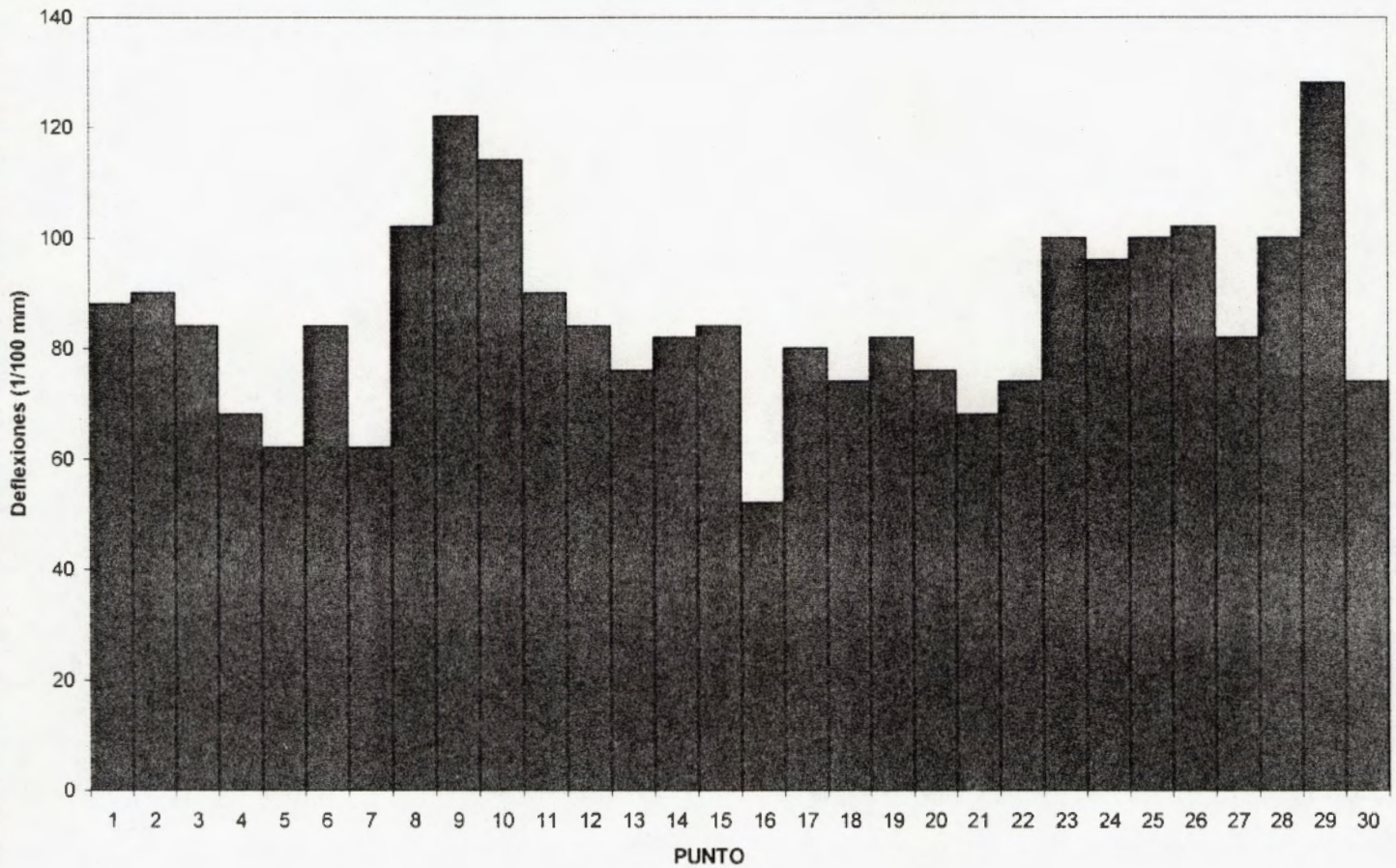
PROMEDIO (D): 86.00
 DESV. EST. (σ): 17.39

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

JTA No°: 1

TRAMO: La Irma - Cañas
SENTIDO: La Irma - Cañas
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Cañas - Bagaces
 SENTIDO: Cañas - Bagaces
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 28-Jul-99

ESTACION	PUNTO N ^o	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	156	47	36
0+ 50	2	78	47	36
0+ 100	3	88	47	36
0+ 150	4	130	47	36
0+ 200	5	100	47	36
0+ 250	6	136	47	36
0+ 300	7	116	47	36
0+ 350	8	102	47	36
0+ 400	9	112	47	36
0+ 450	10	140	47	36
0+ 500	11	160	47	36
0+ 550	12	160	47	36
0+ 600	13	150	47	36
0+ 650	14	102	47	36
0+ 700	15	98	48	36
0+ 750	16	124	48	36
0+ 800	17	108	48	36
0+ 850	18	106	48	36
0+ 900	19	90	48	36
0+ 950	20	148	48	36
1+ 000	21	106	48	36
1+ 50	22	130	48	36
1+ 100	23	74	48	36
1+ 150	24	130	48	36
1+ 200	25	142	48	36
1+ 250	26	112	48	36
1+ 300	27	72	48	36
1+ 350	28	156	48	36

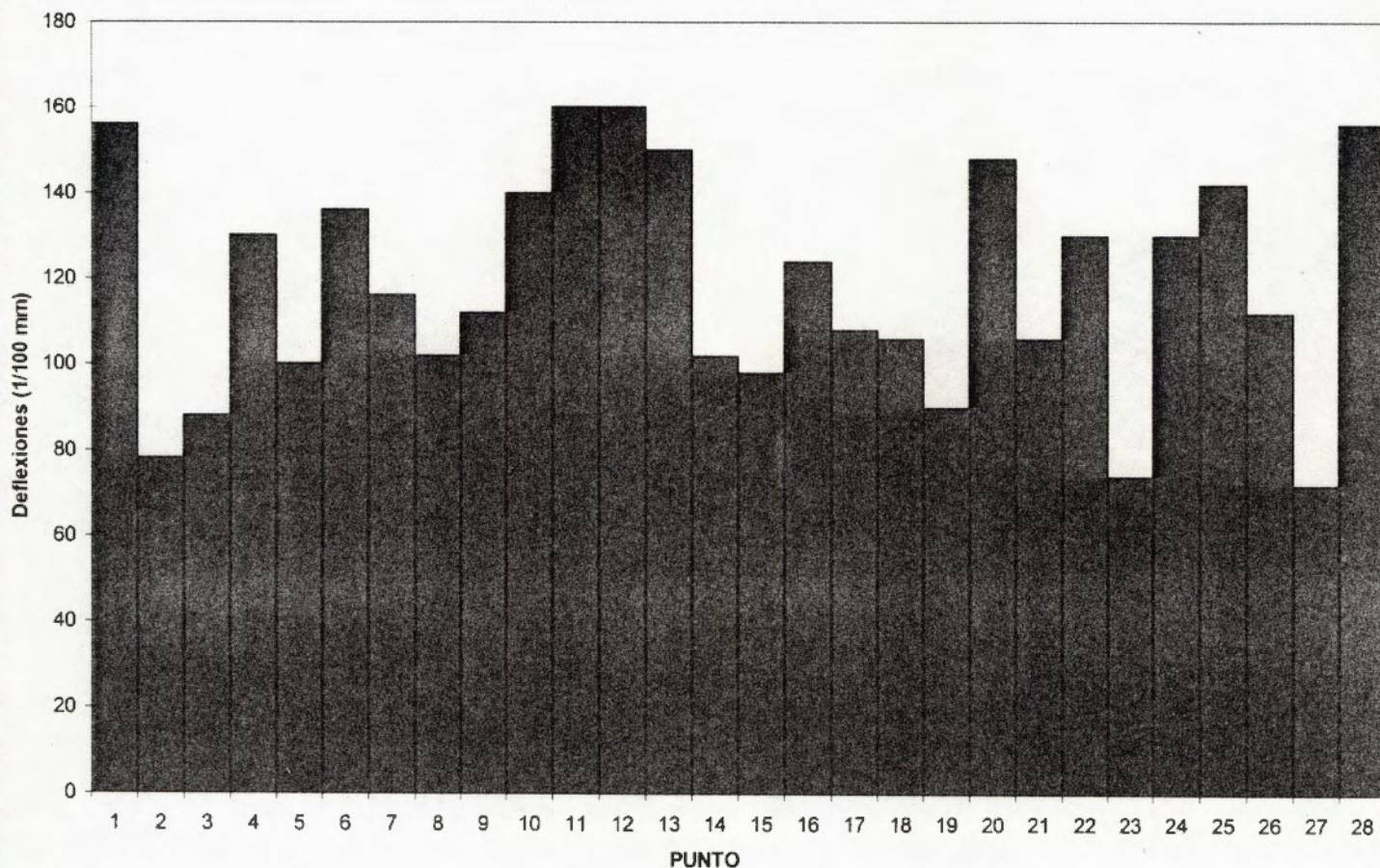
PROMEDIO (D): 118.79
 DESV. EST. (σ): 26.67

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

RUTA Noº: 1

TRAMO: Cañas - Bagaces
SENTIDO: Cañas - Bagaces
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



**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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Bagaces - Liberia
 SENTIDO: Bagaces - Liberia
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 28-Jul-99

ESTACION	PUNTO Nº	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	104	38	32
0+ 50	2	86	38	32
0+ 100	3	96	38	32
0+ 150	4	86	38	32
0+ 200	5	104	38	31
0+ 250	6	114	37	31
0+ 300	7	110	37	31
0+ 350	8	90	37	31
0+ 400	9	70	37	31
0+ 450	10	104	37	30
0+ 500	11	70	36	30
0+ 550	12	90	36	30
0+ 600	13	58	36	30
0+ 650	14	98	36	30
0+ 700	15	78	36	30
0+ 750	16	74	36	30
0+ 800	17	98	35	30
0+ 850	18	112	35	29
0+ 900	19	132	35	29
0+ 950	20	152	35	29
1+ 000	21	142	35	29
1+ 50	22	80	34	29
1+ 100	23	80	34	29
1+ 150	24	98	34	28
1+ 200	25	98	34	28
1+ 250	26	78	33	28
1+ 300	27	70	33	28
1+ 350	28	70	33	28
1+ 400	29	62	33	28
1+ 450	30	100	33	28

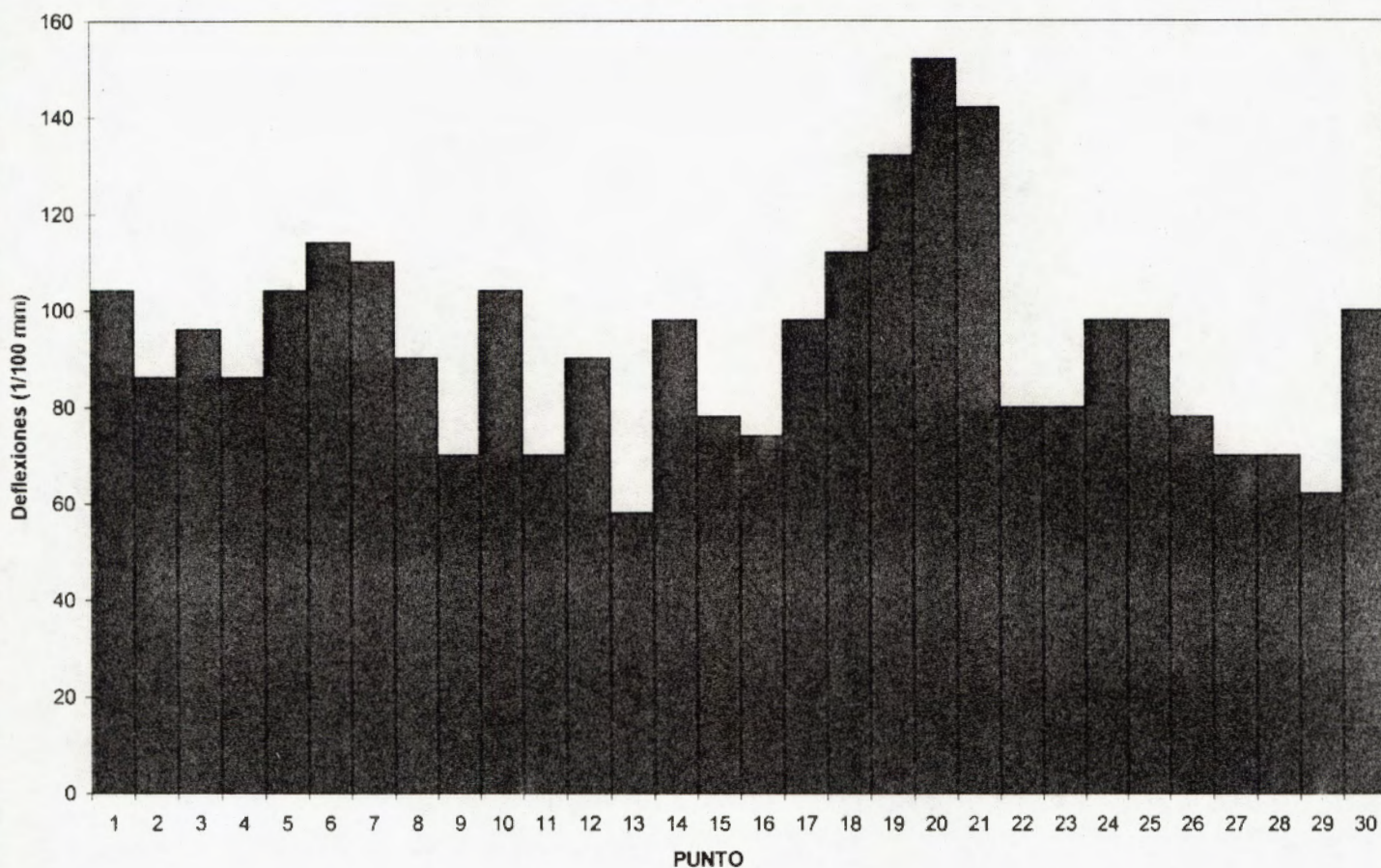
PROMEDIO (D): 93.47
 DESV. EST. (σ): 22.42

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

PLATA No°: 1

TRAMO: Bagaces - Liberia
SENTIDO: Bagaces - Liberia
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



**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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Liberia - Irigaray
 SENTIDO: Liberia - Irigaray
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 23-Jul-99

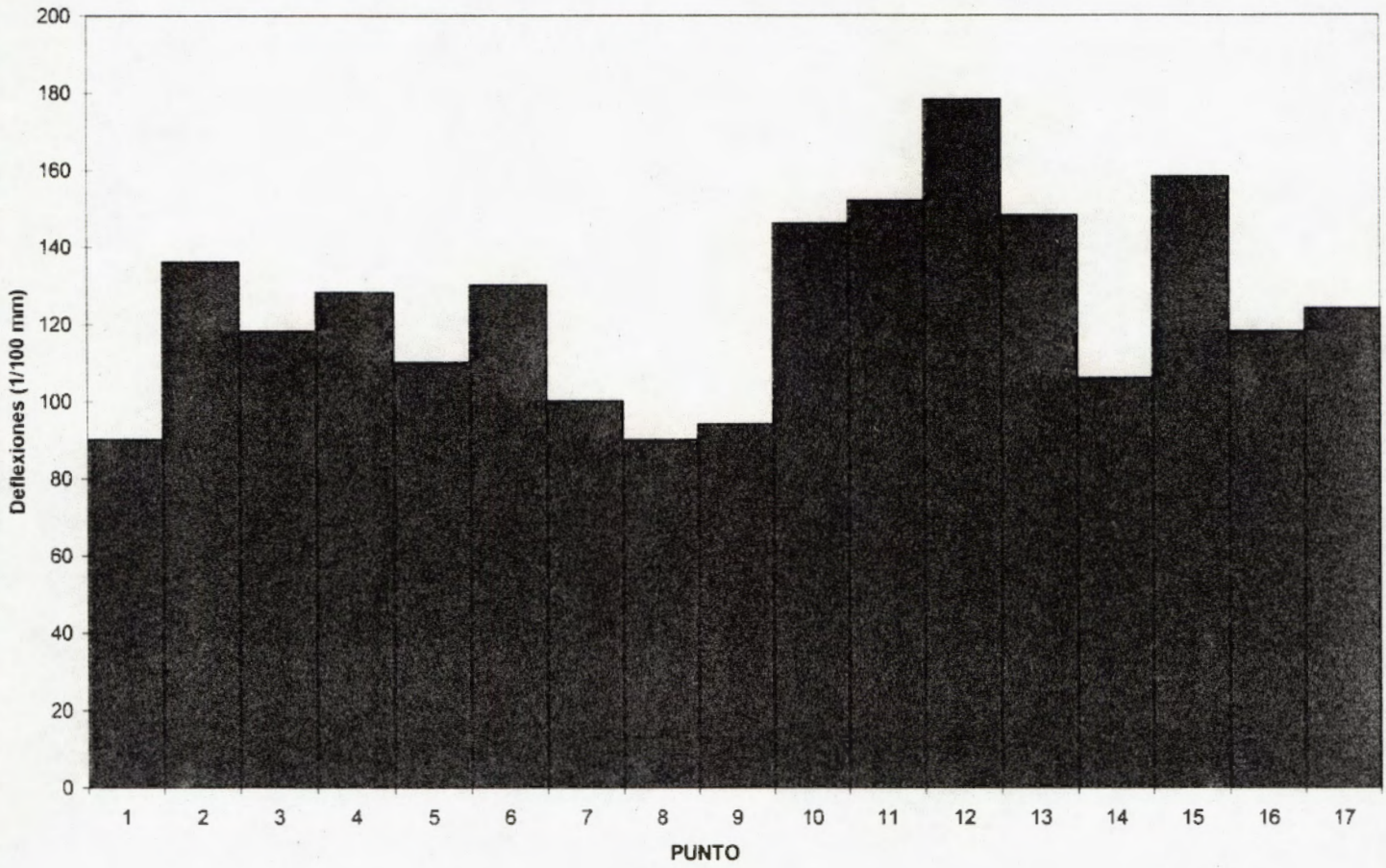
ESTACION	PUNTO N ^o	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	90	37	29
0+ 50	2	136	37	29
0+ 100	3	118	37	29
0+ 150	4	128	37	29
0+ 200	5	110	37	29
0+ 250	6	130	37	29
0+ 300	7	100	37	29
0+ 350	8	90	37	29
0+ 400	9	94	38	29
0+ 450	10	146	38	29
0+ 500	11	152	38	29
0+ 550	12	178	38	29
0+ 600	13	148	38	29
0+ 650	14	106	38	29
0+ 700	15	158	38	29
0+ 750	16	118	38	29
0+ 800	17	124	38	30

PROMEDIO (D): 125.06
 DESV. EST. (σ): 25.58

RUTA No°: 1

TRAMO: Liberia - Irigaray
SENTIDO: Liberia - Irigaray
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



**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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Liberia - Irigaray
 SENTIDO: Liberia - Irigaray
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 23-Jul-99

ESTACION	PUNTO N ^o	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 850	1	60	39	30
0+ 900	2	106	39	30
0+ 950	3	130	39	30
1+ 000	4	60	39	30
1+ 50	5	42	39	30
1+ 100	6	86	39	30
1+ 150	7	58	39	30
1+ 200	8	50	39	30
1+ 250	9	78	39	30
1+ 300	10	72	39	30
1+ 350	11	74	39	30
1+ 400	12	80	39	30
1+ 450	13	104	39	30

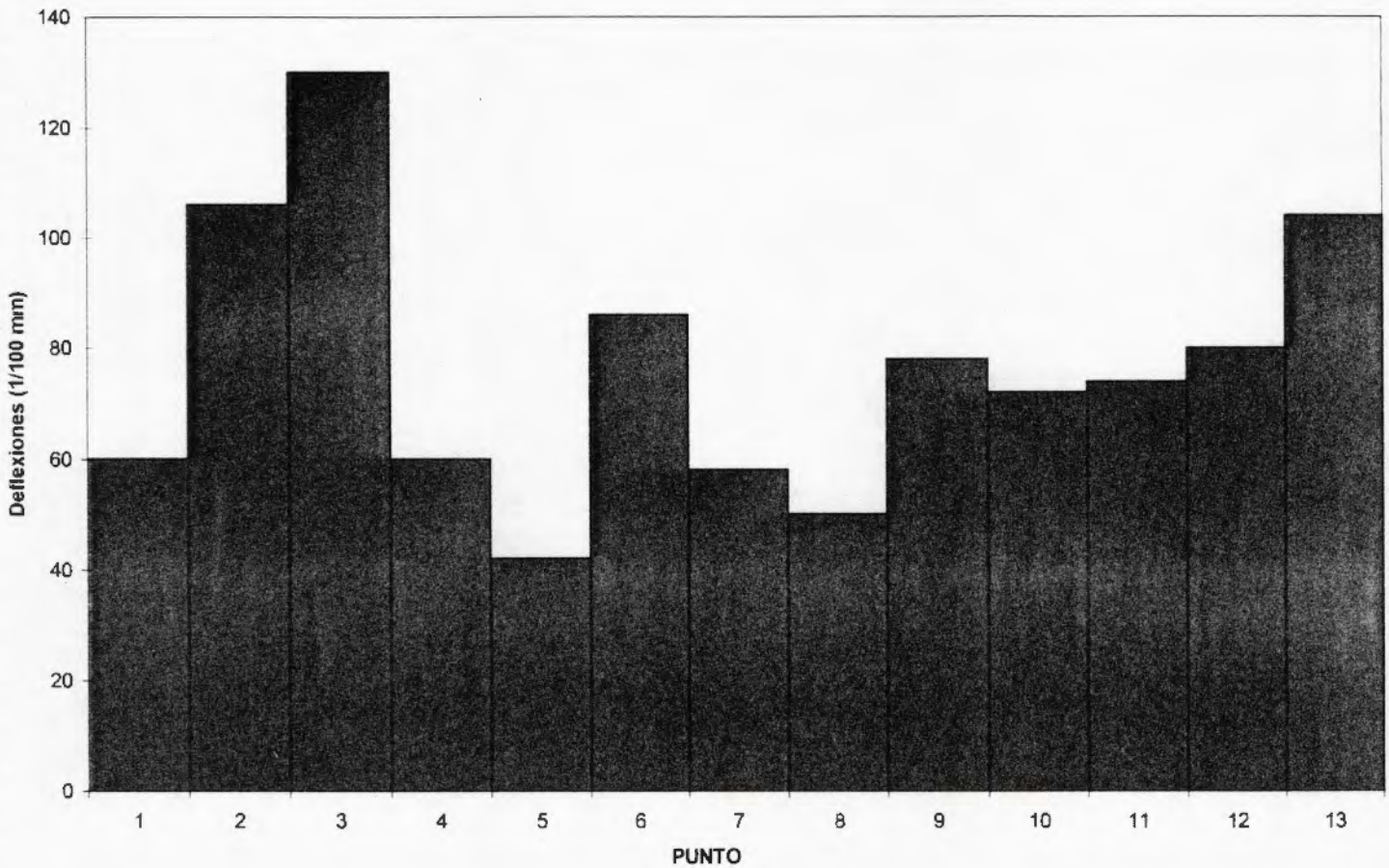
PROMEDIO (D): 76.92
 DESV. EST. (σ): 24.83

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

UTA No°: 1

TRAMO: Liberia - Irigaray
SENTIDO: Liberia - Irigaray
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



**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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Irigaray - Tempisquito
 SENTIDO: Irigaray - Tempisquito
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 23-Jul-99

ESTACION	PUNTO Nº	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	82	35	33
0+ 50	2	136	35	33
0+ 100	3	146	35	33
0+ 150	4	98	35	33
0+ 200	5	64	35	33
0+ 250	6	160	35	33
0+ 300	7	120	35	33
0+ 350	8	164	35	32
0+ 400	9	96	35	32
0+ 450	10	192	35	32
0+ 500	11	76	35	32
0+ 550	12	92	35	32
0+ 600	13	118	35	32
0+ 650	14	110	35	32
0+ 700	15	188	34	32
0+ 750	16	68	34	32
0+ 800	17	62	34	32
0+ 850	18	126	34	32
0+ 900	19	158	34	32
0+ 950	20	96	34	31
1+ 000	21	116	34	31
1+ 50	22	138	34	31
1+ 100	23	182	34	31
1+ 150	24	108	33	31
1+ 200	25	140	33	31
1+ 250	26	140	33	31
1+ 300	27	124	33	31
1+ 350	28	130	33	31
1+ 400	29	108	33	31
1+ 450	30	100	33	31

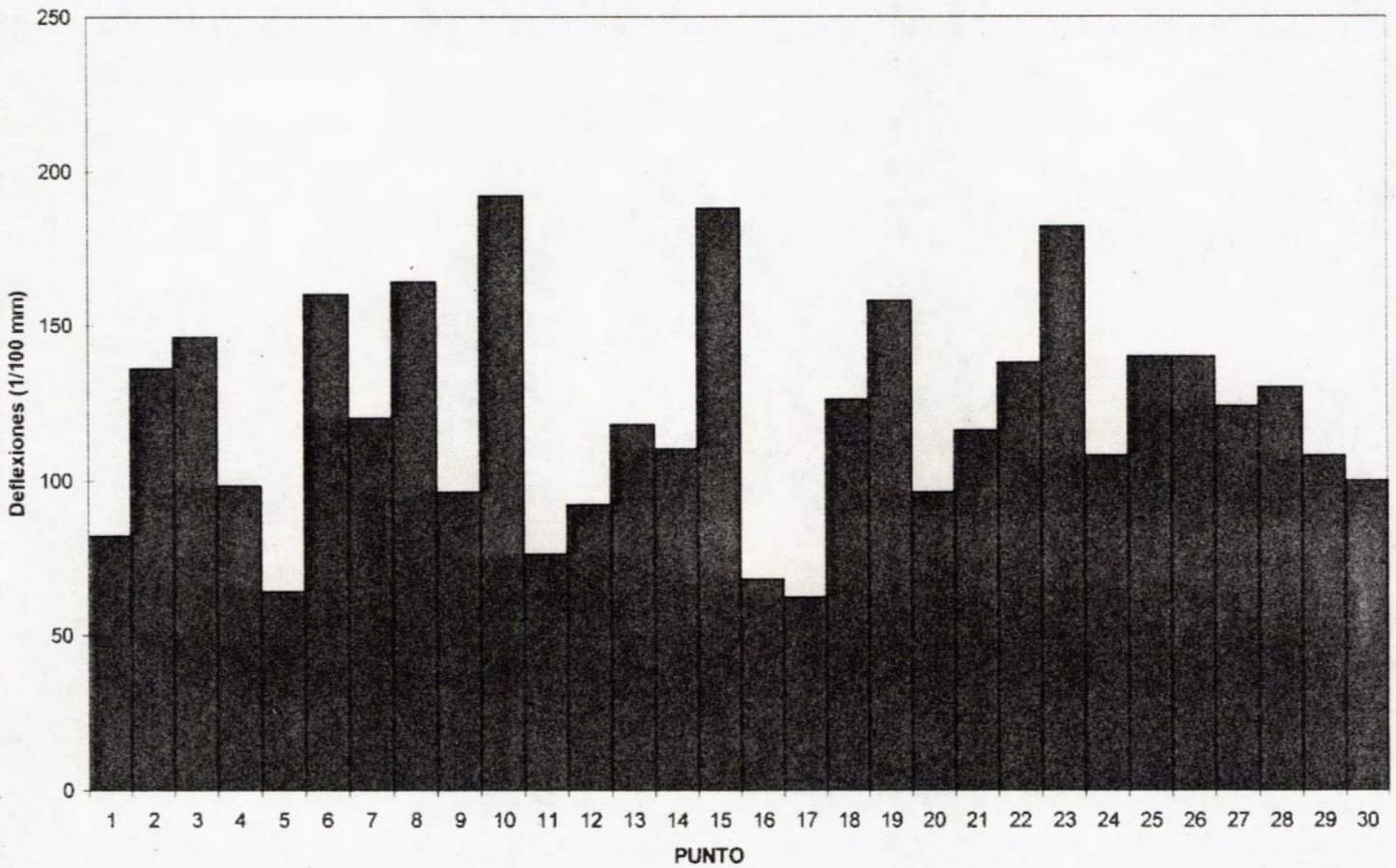
PROMEDIO (D): 121.27
 DESV. EST. (σ): 35.53

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

UTA Noº: 1

TRAMO: Irigaray - Tempisquito
SENTIDO: Irigaray - Tempisquito
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



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 50 METROS
 PRESION DE LLANTAS: 80 Lbs

TRAMO: Tempisquito - La Cruz
 SENTIDO: Tempisquito - La Cruz
 RUTA No. 1
 CARRIL: Derecho
 FECHA: 24-Jul-99

ESTACION	PUNTO N ^o	DEFLEXION mm*10 ⁻²	TEMPER PAVIM (°C)	TEMPER AIRE (°C)
0+ 000	1	100	39	33
0+ 50	2	138	39	33
0+ 100	3	110	39	33
0+ 150	4	90	40	33
0+ 200	5	84	40	33
0+ 250	6	68	40	33
0+ 300	7	78	40	33
0+ 350	8	96	40	34
0+ 400	9	78	41	34
0+ 450	10	78	41	34
0+ 500	11	120	41	34
0+ 550	12	102	41	34
0+ 600	13	122	41	34
0+ 650	14	124	42	33
0+ 700	15	122	42	33
0+ 750	16	110	42	33
0+ 800	17	70	42	33
0+ 850	18	58	42	33
0+ 900	19	64	42	33
0+ 950	20	96	43	33
1+ 000	21	74	43	33
1+ 50	22	156	43	33
1+ 100	23	90	43	33
1+ 150	24	104	43	33
1+ 200	25	104	43	33
1+ 250	26	66	43	32
1+ 300	27	62	44	32
1+ 350	28	96	44	32
1+ 400	29	106	44	32
1+ 450	30	114	44	32

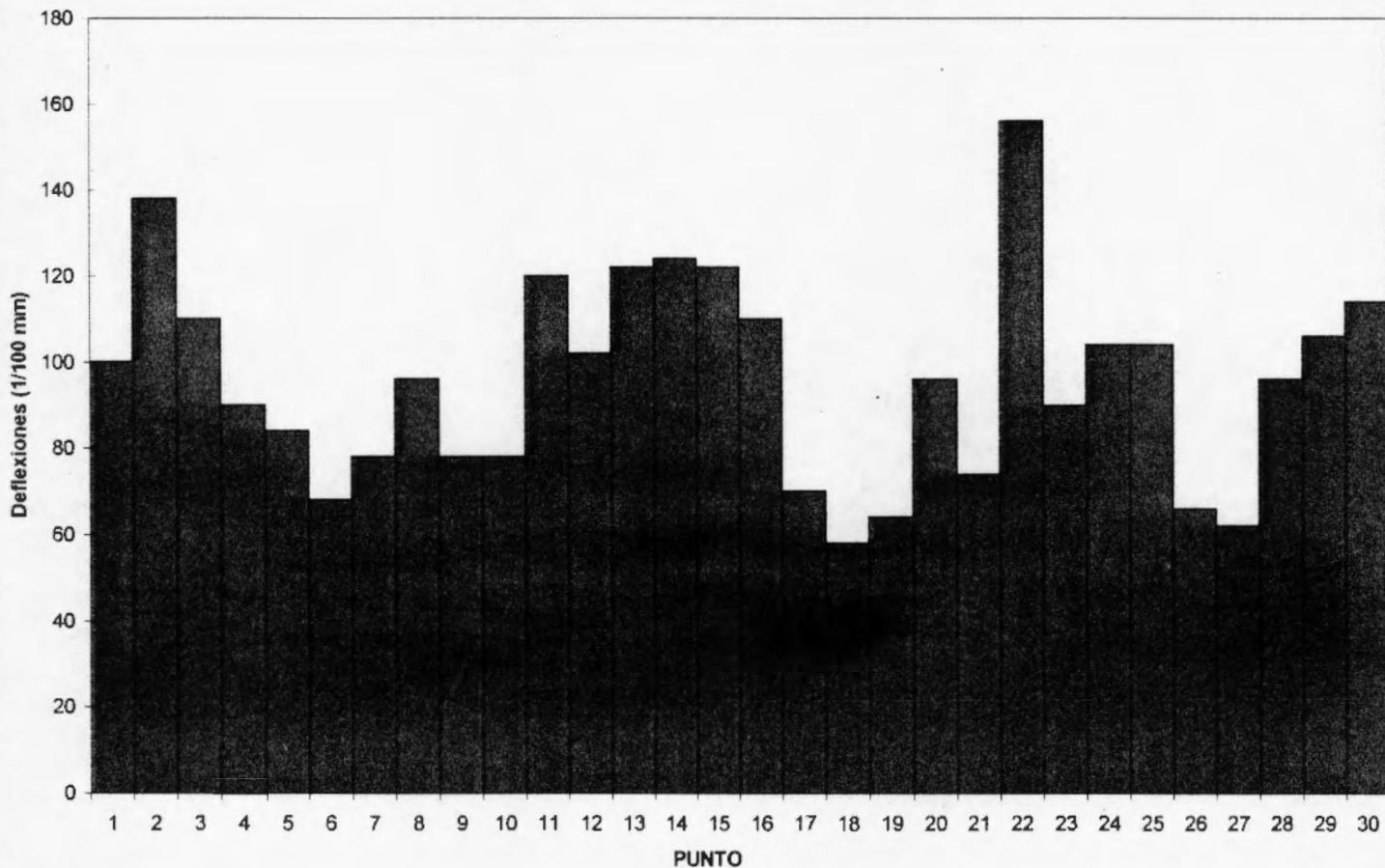
PROMEDIO (D): 96.00
 DESV. EST. (σ): 24.02

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

PLATA No°: 1

TRAMO: Tempisquito - La Cruz
SENTIDO: Tempisquito - La Cruz
MEDICIONES CADA 50 METROS

PERFIL DE DEFLEXIONES



5. Conclusiones

Los materiales asfálticos presentes a lo largo del proyecto presentan una elevada variabilidad en cuanto a su condición actual, de manera que, para realizar un reciclado en caliente en sitio, deben realizarse evaluaciones adicionales para separar el proyecto en tramos homogéneos, debiendo determinarse el contenido de agente rejuvenecedor en cada caso, y, aún así, en algunos casos debe intensificarse el muestreo para determinar la factibilidad de una mezcla asfáltica reciclada, uniforme y de conformidad con las especificaciones estándar para mezcla asfáltica de carpeta.

Adicionalmente, los sondeos de capacidad estructural (deflectometría) determinan una variabilidad de condiciones en el proyecto, por lo que se debe tener en cuenta esta circunstancia en el momento de diseñar un refuerzo estructural del pavimento.

Debe considerarse, además, que el elevado nivel de envejecimiento del ligante, en algunos casos, puede ser determinante de:

- a) Requerirse porcentajes no prácticos y/o anti-económicos de agente rejuvenecedor
- b) Condiciones no adecuadas de adhesividad ligante-agregado en la mezcla reciclada (ligante no homogéneo y de muy elevada viscosidad), haciendo poco efectivo el reciclaje en tales situaciones.
- c) Un detalle importante observado en este análisis de laboratorio, fue el hecho de que se requirió hasta una hora de mezclado a 160°C, del ligante asfáltico base rejuvenecedor (separado por destilación) con el asfalto oxidado (recuperado), para lograr una adecuada homogenización (se evaluó de forma visual). Esta condición hace que sea técnicamente impráctico pretender mezclar en la obra, este rejuvenecedor con el asfalto severamente oxidado de las capas existentes.

Por lo tanto el rejuvenecedor analizado, resulta inapropiado por tres razones:

- a) Se requieren muy altas dosificaciones para convertir el asfalto envejecido en un AC-30.
- b) El tiempo de mezclado requerido para la homogenización asfalto-rejuvenecedor no es viable en la práctica.
- c) El rejuvenecedor está emulsionado en un medio acuoso y esto no lo permiten las especificaciones técnicas.

En síntesis, este proyecto de reciclado presenta dos problemas específicos: determinar el tipo de rejuvenecedor que sea técnicamente aplicable a los niveles de envejecimiento que presenta el asfalto y diseñar el sistema de control de calidad que garantice la homogeneidad y el cumplimiento de las especificaciones durante el proceso constructivo.

Una vez que se tenga el rejuvenecedor adecuado, se debe proceder a los diseños de mezcla con los diferentes tramos homogéneos del proyecto.

