

GrupoTYPESA

rauros**mx**  
ROAD ASSET MAINTENANCE MANAGEMENT

## ESTUDIO ESTRUCTURAL PARA EL CORREDOR NORTE



RAUROS**MX**  
THIERS 135, INT 107.  
COL. ANZURES, ALCALDIA  
MIGUEL HIDALGO, C.P. 11590  
CIUDAD DE MÉXICO  
TELF. +52 55 55 33 71 30  
EDICIÓN: 01



RAUROS MX, S.A. de C.V. le informa de:

La información contenida en este documento es **confidencial y de carácter reservado**. El acceso o cualquier uso por parte de personas no autorizadas puede llegar a ser ilegal. Si usted no es una persona autorizada, le rogamos que proceda a destruir este documento y no hacer ningún uso de él, ni transmitirlo a terceros. Si lo considera oportuno puede avisar a su autor informándole de que llegado a un destino no deseado. La violación del deber de confidencialidad podrá ser perseguida ante los Tribunales de Justicia y en virtud de la legislación, nacional e internacional, penal, civil o administrativa.

---

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ALCANCES.....	3
3. OBJETIVO .....	4
4. METODOLOGÍA.....	4
4.1. Medición en campo.....	4
4.2. Proceso de datos en gabinete .....	7
4.2.1. Deflexión residual.....	7
4.2.2. Transferencia de carga .....	11
4.2.3. Deflexión Máxima.....	13
5. RESULTADOS.....	15
5.1. Deflexión residual y transferencia de carga.....	15
5.2. Deflexión Máxima .....	25
6. CONCLUSIONES .....	28

## 1. INTRODUCCIÓN

La Empresa Nacional de Autopistas, S.A. (en adelante ENA) ha solicitado a RAUROS MX, S.A. de C.V. (en adelante RAUROS) realizar un estudio de estado estructural del pavimento de concreto hidráulico en los corredores bajo su administración. (Fig. 1). El presente documento describe los alcances, trabajos realizados, criterios y resultados obtenidos.

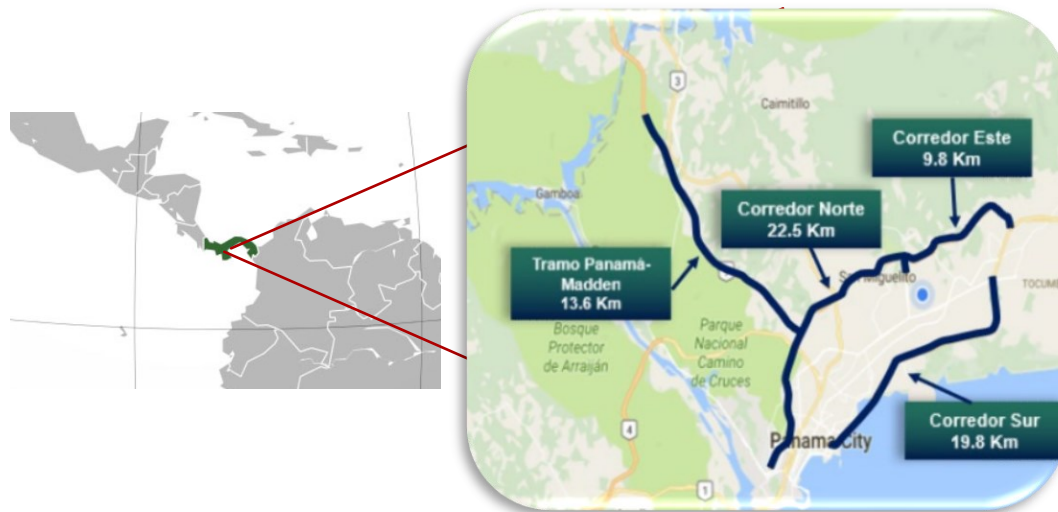


Fig. 1 Corredores administrados por ENA. Fuente: Informe de gestión ENA 2019-2020 (2020, p. 13)

## 2. ALCANCES

Las fases generales para la obtención de resultados del estudio de pavimento rígido se enlistan a continuación:

- ❖ **Toma de datos de deflexión** en bordes de losa siguiendo metodología AASHTO, en zonas propuestas por RAUROS.
- ❖ **Cálculos y proceso de información**, obtención de deflexión residual, transferencia de carga y deflexión máxima en centro de losa
- ❖ **Determinación de losas susceptibles a estabilizar**, mediante inyección de lechada en base al análisis de los resultados obtenidos.
- ❖ **Resultados y conclusiones.**

### 3. OBJETIVO

Determinar la viabilidad para el trabajo de rehabilitación del pavimento rígido mediante la estabilización de la base empleando inyección de concreto.

**El presente documento presenta los resultados obtenidos en el Corredor Norte y Ramal Madden.**

### 4. METODOLOGÍA

A continuación, se enumeran los trabajos realizados cronológicamente en campo y gabinete.

#### 4.1. Medición en campo

Previo a las mediciones con Deflectómetro de impacto, se determinaron las zonas que serían ensayadas. De acuerdo con los alcances contractuales las mediciones con deflectómetro de impacto se repartían de la siguiente manera:

- 10% por kilómetro de las losas en el hombro (20-22 losas)
- 10% por kilómetro de losas en carril de baja (20-22 losas)
- 10% por kilómetro de losas en carril de alta (20-22 losas)
- 1 golpe en el centro de la losa cada 5 losas (12 golpes por km)

De acuerdo con la metodología AASHTO 93, en autopistas con una sección con 2 o más carriles las distribuciones del tráfico pueden variar entre un 80 a 100%

<b>Number of Lanes in Each Direction</b>	<b>Percent of 18-kip ESAL in Design Lane</b>
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

*Fig. 2 Distribución del tráfico de diseño. Fuente AASHTO guide (1993, p.99)*

Por lo anterior, se distribuyeron los ensayos enfocados en obtener la mayor cantidad de datos en carril de baja. La distribución de toma de datos se realizó de la siguiente manera:

De esta manera se cubre con el número de ensayos por kilómetro, pero se tiene una data enfocada en el carril más crítico.

Posterior a la definición de las losas a ensayar, el equipo de operaciones de Rauros se desplazó a la zona y, en conjunto con personal de ENA, se realizaron las mediciones.

El equipo utilizado para la toma de datos fue el deflectómetro de impacto Dynatest

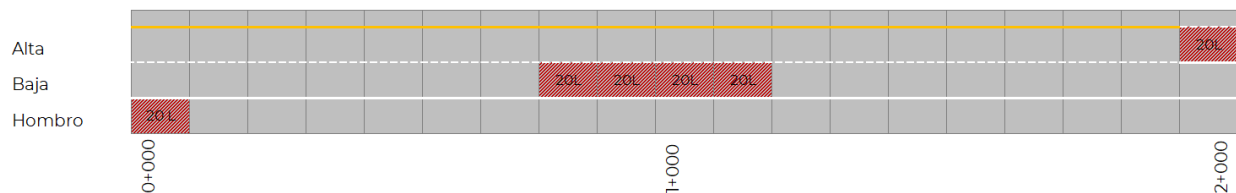


Fig. 3 Distribución de zonas de medición. Fuente: Elaboración propia.

HWD 8082. El deflectómetro de impacto es el equipo más utilizado para la auscultación de la capacidad portante de los pavimentos. Este equipo permite



Fig. 4 Equipo Deflectómetro de Impacto HWD. Fuente: Elaboración propia

conocer la capacidad portante de las carreteras mediante la aplicación de una carga dinámica en la superficie del pavimento. A partir de la respuesta obtenida bajo dicha sollicitación, es posible reproducir el comportamiento estructural del pavimento y conocer su capacidad portante y, en pavimentos de concreto hidráulico, oquedades debajo de losas que permitan realizar acciones correctivas.

La medida de las deflexiones se realiza mediante varios sensores denominados geófonos. Dichos sensores permiten medir la deflexión que se produce en ocho puntos a diferentes distancias del epicentro de la carga. La disposición de geófonos es la indicada a continuación:

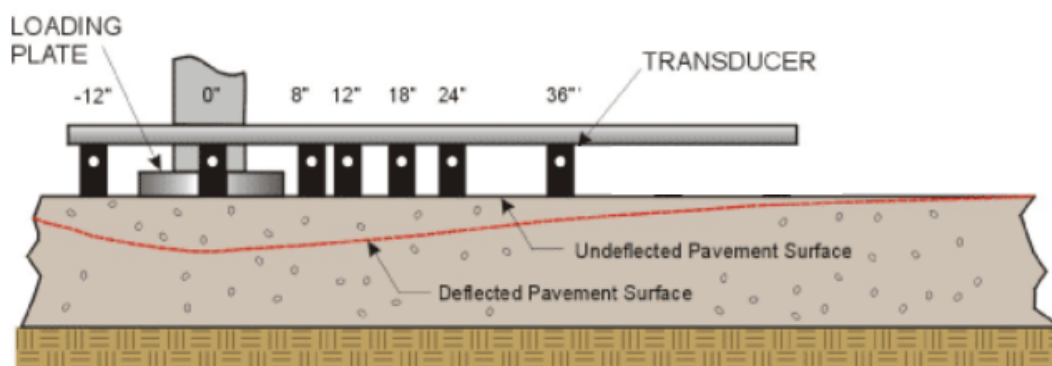


Fig. 5 Esquema de colocación de los geófonos en HWD. Fuente: PaveIng

Las características del equipo para llevar a cabo las mediciones han sido:

- ❖ Diámetro de la placa 300 mm
- ❖ Por cada losa, se ha aplicado un punto de ensayo en el borde después de losa, como muestra la Fig. 6.

- ❖ En cada punto de ensayo se han aplicado tres cargas: 7, 10 y 13 toneladas respectivamente.

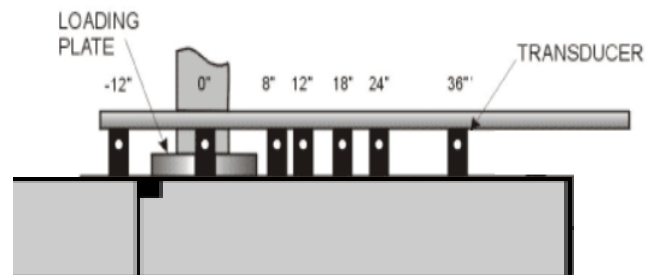


Fig. 6 Metodología de medición. Fuente: Elaboración propia

El **Anexo I. Equipo**, muestra las características del equipo empleado.

## 4.2. Proceso de datos en gabinete

Una vez realizadas las mediciones, el departamento técnico de Rauros realizó el proceso y análisis de la información tomada en campo para la obtención de resultados. El proceso conlleva los siguientes puntos:

- ❖ Tratamiento de datos en bruto y exportación a archivos Excel.
- ❖ Cálculo de deflexión residual, así como de gráficas de análisis.
- ❖ Cálculo de transferencia de carga.
- ❖ Cálculo de deflexión máxima al centro de losa.

Una vez realizado el proceso de los ficheros recabados en campo, se llevó a cabo el análisis de la información, determinando así las losas susceptibles a someterse al procedimiento de estabilización de la base.

A continuación, se explican los procesos realizados.

### 4.2.1. Deflexión residual

Se entiende por deflexión residual a la deflexión remanente que se genera, en el estado inelástico del pavimento, al analizar 3 golpes a distinta carga y con una correlación mayor o igual a 0.950



De manera gráfica, se puede explicar como el valor de deflexión que se genera del corte de la parábola tangente a la recta creada con las 3 cargas-deflexión. La siguiente imagen muestra un ejemplo.

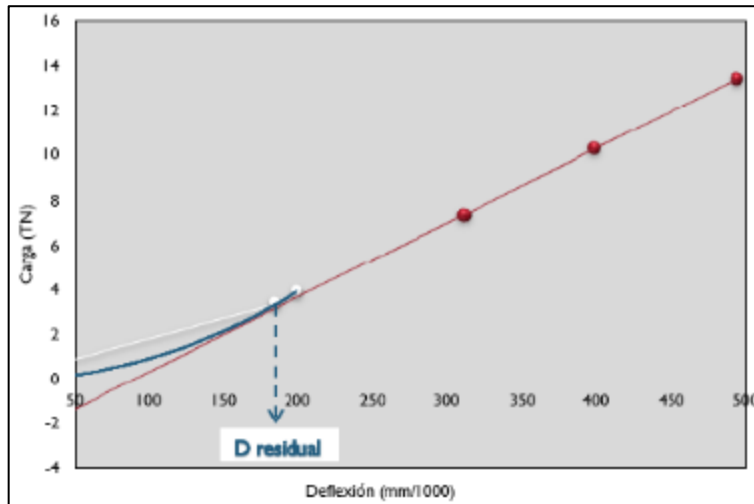


Fig. 7 Esquema gráfico de deflexión residual. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los niveles de calidad requeridos para los puntos evaluables, se indican en la siguiente tabla:

Tabla 1 Umbrales de evaluación de la Deflexión Residual

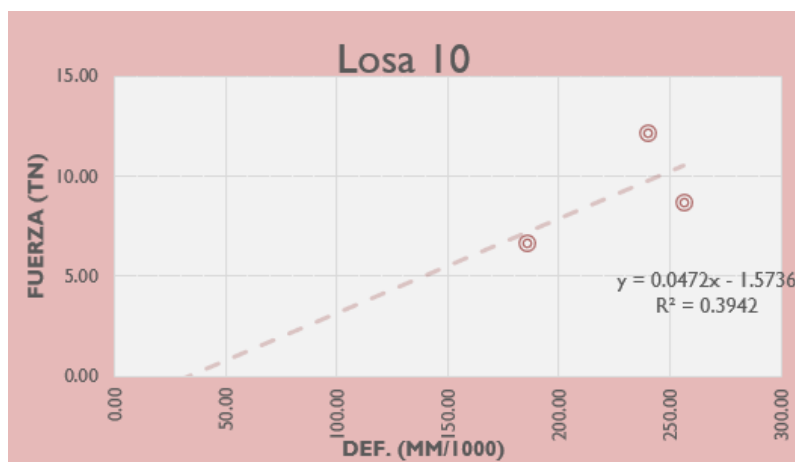
Def Residual ( $\mu\text{m}$ )	
0 - 50	Buena
50 - 100	Inyección preventiva
100 - 250	Inyección necesaria
> 250	Inyección de consolidación

De acuerdo con las AASHTO Guide for design of pavements structures 1993, en su sección 3.5.5 "Use in slab void detection" indica lo siguiente: "Usualmente, losas sin oquedades muestran una gráfica con una línea muy cercana al origen (menor o

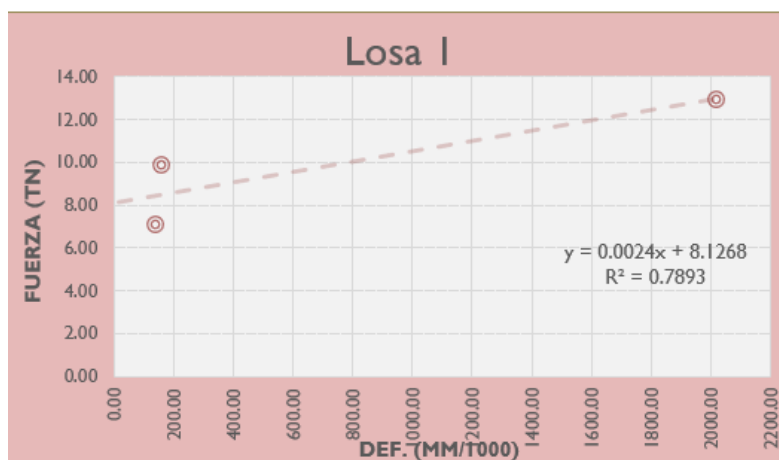
igual a 0.002 pulgadas o 50 micrómetros). para losas donde la gráfica carga vs deflexión muestra una tendencia alejada del origen, es indicativo de oquedades.”<sup>1</sup>

En base a lo indicado a la teoría de la deflexión residual, así como con el expertise con el que cuenta Rauros, se han fijado ciertas premisas las cuales discriminan ciertos puntos a analizar, estas premisas aplicaran en los siguientes 3 casos:

1. Los resultados obtenidos no tienen una correlación lógica (correlación carga vs deflexión).

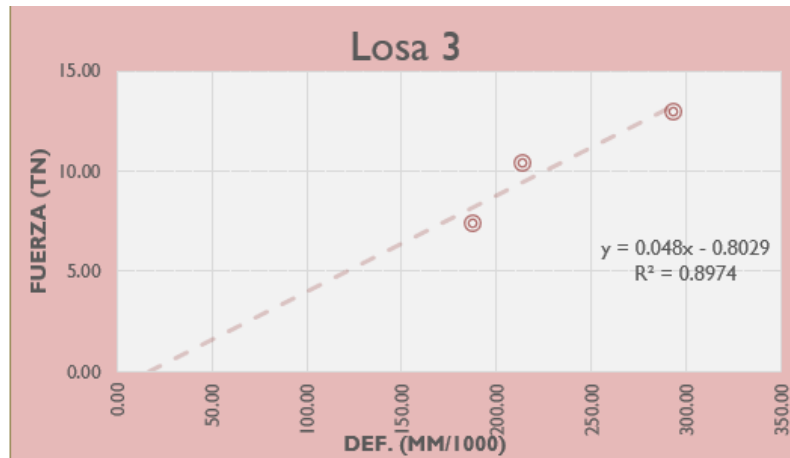


2. Puntos donde la carga de 13 toneladas dispara el resultado de deflexión.



<sup>1</sup> Texto traducido al español por Rauros. Texto original: AASHTO guide for desing of pavements structures. 1993. p. 233

3. Puntos donde la correlación de la recta es menor a 0.950.



Estas 3 características “singulares” enlistadas anteriormente, pueden indicar algún tipo de problema que se debería estudiar en detalle en caso de repetirse en el tiempo.

Una vez realizado el análisis de la deflexión residual se realizó la comparación entre la deflexión máxima obtenida al centro del plato de carga y el módulo elástico (módulo de Young) para cada golpe.

La obtención del módulo de Young se logra al dividir el esfuerzo provocado en el pavimento de concreto hidráulico entre la deflexión que este produce, en una ecuación de la siguiente forma:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E = módulo de Young (Pa)

$\sigma$  = Esfuerzo producido por la carga (N/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Deflexión máxima (m)

Realizando esto, podremos analizar la relación entre la deflexión y el módulo del pavimento, lo que nos dará una mejor idea de las condiciones de las losas ensayadas y de la condición del pavimento.

El **Anexo II Deflexión Residual y Transferencia de carga**, muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos ensayados.

#### 4.2.2. Transferencia de carga

El concepto de transferencia de carga en las juntas transversales se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa contigua. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa siguiente, reduciendo por tanto sus tensiones de borde según se muestra en la siguiente figura:

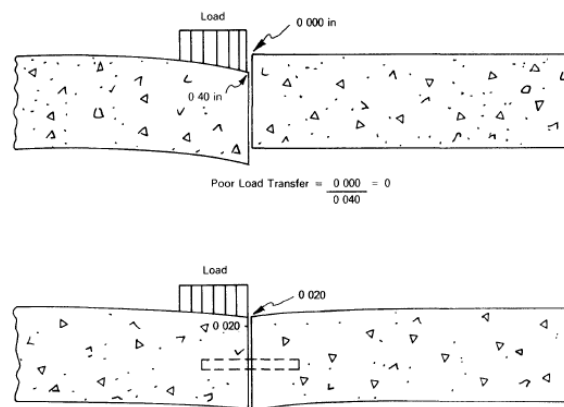


Fig. 8 Esquema de la transferencia de carga. Fuente: AASHTO guide. (1993, p. 217)

Como puede apreciarse, para lograr una efectiva transferencia de cargas en sentido longitudinal, para tráficos pesados, especialmente en carreteras, una de las soluciones es usar pasadores en todas las juntas transversales. Por otra parte, la capacidad de transferencia de cargas en el sentido longitudinal tiene una importante influencia desde el punto de vista del diseño, de manera que, en sentido longitudinal, el uso de acotamientos de concreto atadas, o sobrecanchos (losas con parte del acotamiento macizo incorporado), tiene un efecto positivo en la reducción de esfuerzos en las losas.

De acuerdo con estudios de deflexión elaborados por la American Concrete Pavement Association (ACPA), *si se carga una losa sin barras pasa juntas en una esquina, se producirá una deflexión 5 veces mayor que si la carga se colocara en el centro de la losa.* Esta misma deflexión sería 3 veces mayor si la esquina estuviera vinculada con la losa adyacente mediante pasadores. Este estudio muestra la importancia de utilizar sobrecanchos y pasadores para tráficos pesados puesto que puede reducirse notablemente los esfuerzos de tensión en bordes y esquinas o bien optimizar el diseño reduciendo los espesores de diseño.

Para el cálculo de la transferencia de carga la AASHTO Guide muestra la siguiente ecuación:

$$Tc = \frac{Dn}{Dc} \times 100$$

Donde:

Tc: Transferencia de carga (%)

Dn: Deflexión medida en la losa no cargada, es decir, donde no se realiza el golpe.

Dc: Deflexión medida en la losa cargada, es decir, donde se realiza el golpe.

En cuanto a los niveles de calidad requeridos para los puntos evaluables, se indican en la siguiente tabla en cuanto a Transferencia de carga:

Tabla 2 Umbrales de evaluación de la Transferencia de carga

Transferencia de carga (%)	
100 - 75	Buena
75 - 50	Regular
50 - 25	Mala
25 - 0	Muy mala

El **Anexo II Deflexión Residual y Transferencia de carga**, muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de ensayo.

### 4.2.3. Deflexión Máxima

Las deflexiones son la medida de deformación elástica o de recuperación vertical que experimenta un pavimento al paso de una carga. Mediante la toma de deflexiones es posible determinar la capacidad estructural de un pavimento a través de la cual se puede determinar si existen deficiencias estructurales incluso antes de que se manifieste superficialmente.

La deflexión máxima es la medida tomada justo debajo del plato de carga. dicha medida indica la deformación máxima que el pavimento experimenta ante la carga y típicamente se emplea para representar la condición de la capa superficial del paquete estructural.

Existen diversos factores que pueden llegar a afectar la toma en capo de deflexiones tales como la temperatura en mezclas asfálticas y las posibles variaciones en la carga aplicada en cada ensayo.

Ante esto la AASHTO Guide recomienda realizar el proceso de normalización de las cargas. dicho proceso tiene como objetivo igualar las cargas a las transmitidas por un eje simple de 8.2 toneladas.

En el **caso exclusivo de pavimentos asfálticos**, se requiere realizar la normalización por temperatura con el fin de homogenizar las mediciones a una condición de 20°C.

Para realizar el proceso de normalización se ha empleado los ensayos realizados al centro de losa y con la carga más cercana a 41 Kn (golpe 1) empleando la siguiente ecuación:

$$D_{nor} = \frac{D_i * f_{41}}{f_i}$$

Donde:

D<sub>nor</sub> = Deflexión máxima normalizada

D<sub>i</sub> = Deflexión en el geófono i

$f_4$  = Fuerza normalizada a 41 KN

$f_i$  = Fuerza empleada en el ensayo

El **Anexo IV Deflexión máxima**, muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos de ensayo.

## 5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran a continuación. Estos resultados son derivados del proceso para la obtención de deflexión residual, transferencia de carga y deflexión máxima con el fin de conocer el estado del pavimento.

### 5.1. Deflexión residual y transferencia de carga

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos de deflexión residual y transferencia de carga descrito en los apartados [3.2.1](#) y [3.2.2](#).

Tabla 3 Deflexión residual y transferencia de carga sentido creciente Corredor Norte

Est. Inicio	Est.. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
2+550	2+650	Hombro	20	88.29	46.54	25	101	14
4+500	4+600	Hombro	20	98.93	91.70	46	82	14
6+500	6+600	Hombro	20	98.60	77.30	44	99	19
8+500	8+600	Hombro	20	96.71	82.94	38	94	16
10+400	10+500	Hombro	20	100.00	100.00	33	73	15
11+500	11+640	Hombro	20	97.81	76.54	35	106	20
12+530	12+630	Hombro	20	97.80	85.85	54	121	18
14+550	14+650	Hombro	20	98.97	85.72	62	171	20
16+530	16+630	Hombro	20	99.66	96.79	29	71	20
18+500	18+600	Hombro	20	98.12	89.61	35	86	19
0+800	1+200	Baja	80	95.60	42.40	47	168	79
2+800	3+200	Baja	80	99.23	63.39	36	95	80
4+800	5+200	Baja	80	99.02	63.94	24	207	76
6+800	7+200	Baja	80	99.29	77.07	22	106	79
8+800	9+200	Baja	80	98.31	50.59	58	158	65



Est. Inicio	Est.. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
10+800	11+200	Baja	80	98.72	69.85	55	179	65
12+800	13+200	Baja	80	97.55	53.66	55	169	71
14+800	15+200	Baja	88	97.05	40.66	63	498	60
16+800	17+200	Baja	80	95.90	48.76	25	122	65
18+800	19+200	Baja	80	93.19	23.07	57	485	80
0+000	0+200	Alta	40	96.71	55.48	31	92	38
1+900	2+100	Alta	40	99.79	90.00	37	100	38
3+900	4+100	Alta	40	99.39	91.05	24	73	40
5+900	6+100	Alta	40	99.62	94.41	40	116	40
7+900	8+100	Alta	41	99.53	91.97	55	128	41
9+900	10+100	Alta	41	99.69	93.29	32	64	41
11+900	12+100	Alta	41	99.52	93.72	23	69	40
13+900	14+100	Alta	40	92.10	33.26	35	176	40
15+900	16+100	Alta	40	96.63	49.25	39	161	36
17+900	18+100	Alta	40	95.68	54.30	45	249	40

Tabla 4 Deflexión residual y transferencia de carga sentido decreciente Corredor Norte.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
17+500	17+450	Hombro	10	98.74	89.20	23	56	10
13+500	13+450	Hombro	10	85.81	38.22	34	57	10
11+500	11+450	Hombro	10	96.87	81.31	33	48	10
9+500	9+450	Hombro	10	97.10	71.94	9	22	10
18+150	19+850	Baja	60	93.87	31.94	37	305	60
17+150	16+850	Baja	60	99.46	77.27	30	123	60
15+150	14+850	Baja	62	92.73	23.45	34	123	61
13+150	12+850	Baja	60	98.47	76.46	34	128	60
11+150	10+850	Baja	60	99.76	91.93	64	130	58
9+150	8+850	Baja	60	99.11	81.81	24	98	60

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
7+150	6+850	Baja	60	99.43	87.02	46	219	60
5+150	4+850	Baja	60	99.84	94.38	53	122	60
3+150	2+850	Baja	60	98.94	86.84	25	130	60
20+100	19+900	Alta	40	99.89	94.98	31	97	40
18+100	17+900	Alta	40	99.48	89.70	44	170	39
16+100	15+900	Alta	40	98.43	88.54	15	34	39
14+100	13+900	Alta	40	99.17	89.12	33	107	40
12+100	11+900	Alta	40	99.71	88.33	49	75	40
10+100	9+900	Alta	40	97.04	82.60	46	88	40
8+100	7+900	Alta	40	99.55	92.83	37	74	40
6+100	5+900	Alta	40	98.82	89.12	30	83	40
4+100	3+900	Alta	40	99.84	92.82	45	92	40
2+100	1+900	Alta	42	98.75	88.11	47	105	42

Tabla 5 Deflexión residual y transferencia de carga sentido creciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
0+200	0+400	Hombro	20	95.82	36.70	57	137	15
4+000	4+100	Hombro	20	98.26	90.62	61	196	18
8+000	8+100	Hombro	20	95.93	57.78	90	258	19
12+000	12+100	Hombro	20	99.94	98.07	43	115	15
0+800	1+200	Baja	80	93.75	50.72	59	194	45
2+800	3+200	Baja	80	95.79	43.88	53	134	61
4+800	5+200	Baja	80	95.48	43.71	81	189	69
6+800	7+200	Baja	80	99.65	91.55	94	204	74
8+800	9+200	Baja	80	98.11	36.27	86	140	69
10+800	11+200	Baja	80	97.97	33.78	109	273	76

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
12+950	13+050	Baja	20	99.55	89.51	72	158	20
0+200	0+400	Alta	40	98.89	78.76	51	238	40
1+900	2+100	Alta	40	99.25	86.12	39	138	34
3+900	4+100	Alta	40	99.66	96.99	26	92	39
5+900	6+100	Alta	40	98.63	81.88	54	129	37
7+900	8+100	Alta	40	99.41	79.49	40	104	39
9+900	10+100	Alta	40	98.20	80.06	39	118	40

Tabla 6 Deflexión residual y transferencia de carga sentido decreciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
12+000	11+900	Hombro	20	94	70	69	143	9
8+000	7+900	Hombro	20	100	98	67	147	20
4+000	3+900	Hombro	20	95	77	54	146	20
0+200	0+100	Hombro	20	98	75	71	149	18
13+050	12+950	Baja	20	99	93	66	160	19
11+200	10+800	Baja	83	99	82	97	621	77
9+200	8+800	Baja	80	97	62	61	152	73
7+200	6+800	Baja	80	98	54	116	1,637	80
5+200	4+800	Baja	80	96	43	102	186	70
3+200	2+800	Baja	81	97	66	71	930	75
1+200	0+800	Baja	82	99	75	41	210	75
12+100	11+900	Alta	42	99	89	63	156	37
10+100	9+900	Alta	40	100	96	51	197	39
8+100	7+900	Alta	40	100	98	59	145	40
6+100	5+900	Alta	41	97	46	84	214	41
4+100	3+900	Alta	40	99	82	113	251	35

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	No. De ensayos	TC promedio (%)	TC mínima (%)	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	No. De ensayos validos
2+100	1+900	Alta	41	98	71	54	139	39

Conocidos los valores de la deflexión residual, han sido consideradas para el trabajo de estabilización de la base, aquellas losas con valores mayores a 50 micras. Al emplear esta consideración se espera realizar un trabajo correctivo, evitando el descalce en la base. Dicha consideración se ha realizado tomando en cuenta la losa con deflexión residual mayor a 50 así como las losas adyacentes a la misma en los 3 carriles. A continuación, se muestra un esquema de la zona de influencia y propuesta a ser considerada para estabilización de la base.

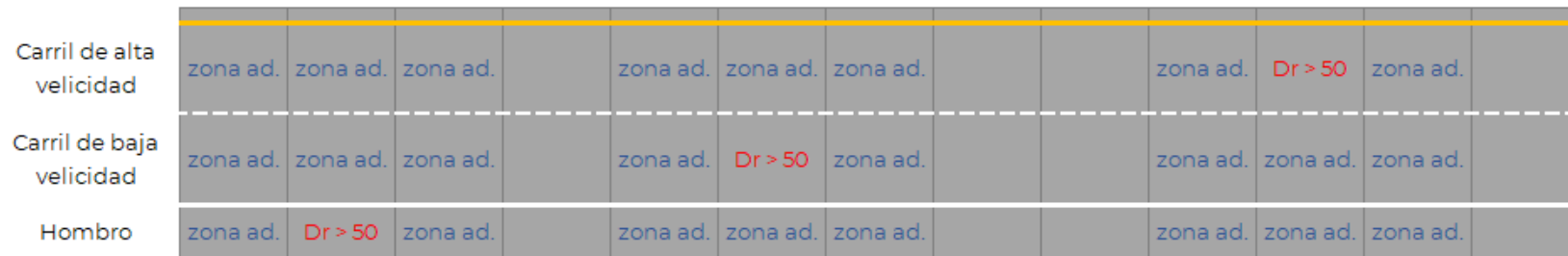


Fig. 9 Zona de influencia propuesta para estabilización de base. Fuente: elaboración propia

Tras el análisis de la información obtenida de deflexión residual. A continuación, se muestra el número de puntos con deflexión residual mayor a 70 micras y el número de losas propuestas para la estabilización de base con inyección:

Tabla 7 Propuesta de estabilización de base sentido creciente Corredor Norte.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	Losas con Dr > 50	Losas por inyectar*
2+550	2+650	Hombro	25	101	5	39
4+500	4+600	Hombro	46	82	7	48
6+500	6+600	Hombro	44	99	10	57
8+500	8+600	Hombro	38	94	4	30
10+400	10+500	Hombro	33	73	2	18
11+500	11+640	Hombro	35	106	5	33
12+530	12+630	Hombro	54	121	8	54
14+550	14+650	Hombro	62	171	11	63
16+530	16+630	Hombro	29	71	6	39
18+500	18+600	Hombro	35	86	7	69
0+800	1+200	Baja	47	168	33	183
2+800	3+200	Baja	36	95	21	129
4+800	5+200	Baja	24	207	15	99
6+800	7+200	Baja	22	106	8	48
8+800	9+200	Baja	58	158	41	234
10+800	11+200	Baja	55	179	35	201
12+800	13+200	Baja	55	169	35	201
14+800	15+200	Baja	63	498	31	201
16+800	17+200	Baja	25	122	8	69
18+800	19+200	Baja	57	485	32	195
0+000	0+200	Alta	31	92	11	78
1+900	2+100	Alta	37	100	11	69
3+900	4+100	Alta	24	73	5	39
5+900	6+100	Alta	40	116	14	87
7+900	8+100	Alta	55	128	22	108
9+900	10+100	Alta	32	64	8	60
11+900	12+100	Alta	23	69	4	42
13+900	14+100	Alta	35	176	11	90
15+900	16+100	Alta	39	161	12	81
17+900	18+100	Alta	45	249	11	66

\* Considerando losas adyacentes

**TOTAL 2,730**

Tabla 8 Propuesta de estabilización de base sentido decreciente Corredor Norte.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	Losas con Dr > 50	Losas por inyectar*
17+500	17+450	Hombro	23	56	1	9
13+500	13+450	Hombro	34	57	1	9
11+500	11+450	Hombro	33	48	0	0
9+500	9+450	Hombro	9	22	0	0
18+150	19+850	Baja	37	305	16	81
17+150	16+850	Baja	30	123	12	84
15+150	14+850	Baja	34	123	15	99
13+150	12+850	Baja	34	128	14	69
11+150	10+850	Baja	64	130	40	165
9+150	8+850	Baja	24	98	5	42
7+150	6+850	Baja	46	219	24	126
5+150	4+850	Baja	53	122	34	165
3+150	2+850	Baja	25	130	7	45
20+100	19+900	Alta	31	97	8	60
18+100	17+900	Alta	44	170	14	78
16+050	15+850	Alta	15	34	0	0
14+050	13+850	Alta	33	107	11	45
12+100	11+900	Alta	49	75	18	93
10+100	9+900	Alta	46	88	21	108
8+100	7+900	Alta	37	74	11	48
6+100	5+900	Alta	30	83	6	42
4+100	3+900	Alta	45	92	15	81
2+100	1+900	Alta	47	105	16	96

\* Considerando losas adyacentes

**TOTAL 1,545**

Tabla 9 Propuesta de estabilización de base sentido creciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	Losas con Dr > 50	Losas por inyectar*
0+200	0+400	Hombro	57	137	8	51
4+000	4+100	Hombro	61	196	7	39
8+000	8+100	Hombro	90	258	12	69
12+000	12+100	Hombro	43	115	4	27
0+800	1+200	Baja	59	194	22	213
2+800	3+200	Baja	53	134	31	198
4+800	5+200	Baja	81	189	53	258
6+800	7+200	Baja	94	204	63	291
8+800	9+200	Baja	86	140	61	288
10+800	11+200	Baja	109	273	71	300
12+950	13+050	Baja	72	158	15	69
0+200	0+400	Alta	51	238	18	99
1+900	2+100	Alta	39	138	12	90
3+900	4+100	Alta	26	92	6	54
5+900	6+100	Alta	54	129	17	93
7+900	8+100	Alta	40	104	14	96
9+900	10+100	Alta	39	118	11	78
					<b>TOTAL</b>	<b>2,313</b>

\* Considerando losas adyacentes

Tabla 10 Propuesta de estabilización de base sentido decreciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	Losas con Dr > 50	Losas por inyectar*
12+000	11+900	Hombro	69	143	9	54
8+000	7+900	Hombro	67	147	12	63
4+000	3+900	Hombro	54	146	10	57
0+200	0+100	Hombro	71	149	12	66
13+050	12+950	Baja	66	160	11	57
11+200	10+800	Baja	97	621	54	285

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. residual promedio (µm)	Def. residual máxima (µm)	Losas con Dr > 50	Losas por inyectar*
9+200	8+800	Baja	61	152	42	228
7+200	6+800	Baja	116	1,637	69	297
5+200	4+800	Baja	102	186	64	279
3+200	2+800	Baja	71	930	37	207
1+200	0+800	Baja	41	210	24	156
12+100	11+900	Alta	63	156	22	114
10+100	9+900	Alta	51	197	14	105
8+100	7+900	Alta	59	145	22	111
6+100	5+900	Alta	84	214	38	156
4+100	3+900	Alta	113	251	37	153
2+100	1+900	Alta	54	139	20	132

\* Considerando losas adyacentes

**TOTAL 2,520**

A continuación, se muestra el total de losas a recibir el proceso de rehabilitación mediante la inyección de mortero en la base para la estabilización de la losa tanto para el Corredor Norte como para el Ramal Madden.

Tabla 11 Total de losas para rehabilitación Corredor Norte

Condición	Sentido creciente	Sentido decreciente	Total
Losas con Dr > 50 micras.	405	289	694
Losas adyacentes	2,325	1,256	3,581
<b>Total</b>	<b>2,730</b>	<b>1,545</b>	<b>4,275</b>



*Tabla 12 Total de losas para rehabilitación Ramal Madden.*

Condición	Sentido creciente	Sentido decreciente	Total
Losas con Dr > 50 micras.	425	497	922
Losas adyacentes	1,888	2,023	3,911
<b>Total</b>	<b>2,313</b>	<b>2,520</b>	<b>4,833</b>

El **Anexo III. Propuesta de inyección resumen**, muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos antes mencionados.

## 5.2. Deflexión Máxima

Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos de deflexión descrito en el apartado [4.2.3](#).

Tabla 13 Deflexión Máxima sentido creciente Corredor Norte

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. Máxima promedio
2+550	2+650	Hombro	113
4+500	4+600	Hombro	88
6+500	6+600	Hombro	101
8+500	8+600	Hombro	76
10+400	10+500	Hombro	119
11+500	11+640	Hombro	149
12+530	12+630	Hombro	226
14+550	14+650	Hombro	232
16+530	16+630	Hombro	152
18+500	18+600	Hombro	159
0+800	1+200	Baja	236
2+800	3+200	Baja	89
4+800	5+200	Baja	125
6+800	7+200	Baja	131
8+800	9+200	Baja	115
10+800	11+200	Baja	147
12+800	13+200	Baja	218
14+800	15+200	Baja	1064
16+800	17+200	Baja	164
18+800	19+200	Baja	337
0+000	0+200	Alta	138
1+900	2+100	Alta	147
3+900	4+100	Alta	173
5+900	6+100	Alta	187
7+900	8+100	Alta	145
9+900	10+100	Alta	189
11+900	12+100	Alta	355
13+900	14+100	Alta	151
15+900	16+100	Alta	131
17+900	18+100	Alta	177

Tabla 14 Deflexión Máxima sentido decreciente Corredor Norte

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. Máxima promedio
17+500	17+450	Hombro	157
13+500	13+450	Hombro	66
11+500	11+450	Hombro	140
9+500	9+450	Hombro	96
19+150	18+850	Baja	75

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. Máxima promedio
17+150	16+850	Baja	149
15+150	14+850	Baja	146
13+150	12+850	Baja	269
11+150	10+850	Baja	150
9+150	8+850	Baja	126
7+150	6+850	Baja	123
5+150	4+850	Baja	119
3+150	2+850	Baja	241
20+100	19+900	Alta	115
18+100	17+900	Alta	115
16+100	15+900	Alta	174
14+100	13+900	Alta	154
12+100	11+900	Alta	147
10+100	9+900	Alta	262
8+100	7+900	Alta	184
6+100	5+900	Alta	235
4+100	3+900	Alta	255
2+100	1+900	Alta	202

Tabla 15 Deflexión Máxima sentido creciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. Máxima promedio
0+200	0+400	Hombro	141
4+000	4+100	Hombro	104
8+000	8+100	Hombro	131
12+000	12+100	Hombro	120
0+800	1+200	Baja	113
2+800	3+200	Baja	171
4+800	5+200	Baja	215
6+800	7+200	Baja	145
8+800	9+200	Baja	181
10+800	11+200	Baja	207
12+950	13+050	Baja	158
0+200	0+400	Alta	121
1+900	2+100	Alta	88
3+900	4+100	Alta	143
5+900	6+100	Alta	182
7+900	8+100	Alta	123
9+900	10+100	Alta	185

Tabla 16 Deflexión Máxima sentido decreciente Ramal Madden.

Est. Inicio	Est. Fin	Carril	Def. Máxima promedio
12+000	11+900	Hombro	139
8+000	7+900	Hombro	158
4+000	3+900	Hombro	78
0+200	0+100	Hombro	156
13+050	12+950	Baja	161
11+200	10+800	Baja	1253
9+200	8+800	Baja	130
7+200	6+800	Baja	190
5+200	4+800	Baja	183
3+200	2+800	Baja	196
1+200	0+800	Baja	133
12+100	11+900	Alta	156
10+100	9+900	Alta	207
8+100	7+900	Alta	185
6+100	5+900	Alta	131
4+100	3+900	Alta	218
2+100	1+900	Alta	112

El **Anexo IV. Resumen de Dmax**, muestra los resultados obtenidos para cada uno de los puntos antes mencionados.

## 6. CONCLUSIONES

Al momento de realizar las mediciones se realizó la toma de fotografías de cada una de las losas ensayadas. Dentro de las mismas se puede ver el estado de las losas las cuales presentan en algunos casos losas con un buen estado (sin fisuras) y en otras losas con una severidad elevada de fisuración.

Los resultados del Corredor Norte demuestran que el tramo se encuentra trabajando estructuralmente de buena forma, esto se puede concluir al analizar los datos obtenidos de transferencia de carga y deflexión residual observado que los promedios de deflexión residual de todas las zonas ensayadas son de 40 y 36 micras respectivamente. sin embargo, en cada uno de los puntos se encontraron losas con descalce el promedio de losas con descalce por zona es de 16 losas en el sentido creciente y 13 losas en el sentido decreciente. esto se ve reflejado en el número de losas a estabilizar.

Para el caso del Ramal Madden, los resultados demuestran que el tramo está trabajando estructuralmente de forma regular, encontrando valores promedio de deflexión residual de 62 y 73 micras respectivamente lo que indica que el tramo ya presenta un descalce generalizado por lo que la estabilización por inyección será una buena opción. En promedio, el sentido creciente presenta 25 losas con descalce por zona mientras que el sentido decreciente presenta 29 losas.

La decisión de considerar las losas adyacentes es con el fin de estabilizar toda la zona ya que al encontrar una losa con descalce en la base es posible que las losas cercanas a esta presenten un comportamiento similar por lo que la inyección de lechada en estas losas asegurará la estabilización de toda la zona y proveerá de una mejor vida útil el pavimento.

Es muy importante señalar que previo al tratamiento de inyección de lechada en la base las losas que presenten fisuras deberán de ser calafateadas y selladas correctamente para asegurar que cuando se realice el proceso de inyección no se

tenga fuga del material inyectado en la base y que este cumpla la función de llenar los espacios vacíos.

En cuanto a los resultados obtenidos de deflexión máxima al centro de losa, en general los resultados muestran resultados buenos. El Corredor Norte presente una deflexión máxima de 194 micras en el sentido creciente y 161 micras en sentido decreciente.

El Ramal Madden presenta valores promedio de deflexión máxima de 149 micras en sentido creciente y 223 micras en sentido decreciente.

En aquellos puntos donde la Deflexión máxima supera el valor de 300  $\mu\text{m}$  el tratamiento de inyección debe tener el efecto de aumentar el módulo de la estructura resistente del pavimento si bien este parámetro debe mejorar no se esperan mejoras en la Dr.

Al realizar el análisis de los resultados de transferencia de carga, deflexión residual y deflexión máxima se puede concluir que:

- La baja deflexión máxima presentada y la buena transferencia de carga demuestran que el diseño de la losa es el correcto y aún tiene vida útil.
- El presentar bastantes zonas con deflexión residual superior a 50 micras demuestra que, tras el asentamiento del pavimento por el paso de las cargas las losas han empezado a cabecear sobre la base granular provocando vacíos. Estos vacíos en su gran mayoría son pequeños por ser valores cercanos a las 50 micras y, si se aplica un tratamiento correctivo a tiempo, se puede recuperar el pavimento a óptimas condiciones y extender su vida útil reduciendo el número de losas a ser reemplazadas parcial o totalmente por su alto grado de fracturación.

Como se comentó previamente, el objetivo fundamental para el presente caso es brindar al paquete estructural de mayor resistencia portante. Observando el estado superficial de las losas y los resultados, se puede concluir que son acordes uno a otro.

Si bien hay losas con deflexión residual alta, se puede observar que son casos aislados y que la mayoría de las losas presentan un inicio de vacíos que son tratables y recuperables

La inyección en la base proveerá al paquete estructural de un refuerzo adicional alargando la vida útil de la vía.

Como recomendaciones generales, la limpieza y cuidado de las estructuras de drenaje es fundamental para que la afectación del agua sobre las capas inferiores sea la menor posible. También, se recomienda continuar con el sellado adecuado de juntas y fisuras de ancho igual o menor a 3 mm.

Asimismo, se recomienda si se decide realizar el proceso de inyección de lechada en la base, realizar un estudio de comprobación para asegurar la efectividad del tratamiento.

De igual manera y en la medida de lo posible, es recomendable posterior a los trabajos de inyección y sellado colocar una capa de asfalto de al menos 3 cm que proteja de la entrada de agua al pavimento de concreto y alargue su vida útil.

En la Ciudad de México, a 28 de diciembre de 2022.

Elaboró:

Vo. Bo:



Jose Manuel Ortiz Carranza  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



Ing. Alejandro Anguiano Acquart  
DIR. TÉCNICO RAUROS