

# ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS MEDIANTE DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO (FWD) EN DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO EN COSTA RICA

*Gustavo A. Badilla Vargas  
Denia Sibaja Obando*

## Resumen

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) de la Universidad de Costa Rica, realiza cada dos años una evaluación de la red vial nacional pavimentada (ERVN), la cual sirve como instrumento para la gestión de dicha infraestructura.

Tomando en cuenta que los datos de deflectometría de impacto (FWD) podría tomarse en diferentes épocas del año, se plantea la necesidad de cuantificar la variación de los resultados producto de los cambios de humedad de las capas granulares y suelos, relacionados con la estación climática.

Para verificar la existencia de variaciones en la respuesta estructural, reflejada en la deflexión en el primer sensor del FWD, asociado con la estación climática (lluviosa y seca), se realizó un análisis estadístico a la base de datos de resultados de FWD, recopilados en treinta y dos puntos diversos en campañas de medición realizadas en diferentes épocas entre el 2003 y el 2006 en seis regiones geográficas del país.

Los resultados muestran que las estructuras sometidas a cambios marcados del contenido de humedad presentan variaciones significativas en la respuesta. Por el contrario, las zonas en las cuales no existen cambios importantes en el contenido de humedad (más de 180 d de lluvia en el año) no presentan diferencias significativas entre los resultados.

**Palabras claves:** deflectometría de impacto, FWD, zonificación climática, respuesta estructural, pavimentos.

## Abstract

Every two years, the Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) of the Universidad de Costa Rica carries out an Evaluation of the Paved National Road Network which is a tool to the Asset Management.

The Falling Weight Deflectometer (FWD) can be used on different times of the year. Consequently, it is necessary to quantify the variation of results due to changes in humidity on granular layers or soils associated with the seasonal variation.

In order to test the existence of structural response variations reflected in the value of the first sensor's FWD associated with the climatic season (dry and rainy), a statistical analysis of the FDW results database was made in thirty two different points located in six geographic zones around the country. For each point measurements were made in different times between 2003 and 2006.

The result shows that pavements with significant changes of content of humidity have significant variations of structural response. On the other hand, the zones with insignificant changes of content of humidity (more than 180 rainy days on the year) don't show significant changes in results.

**Keywords:** falling weight deflectometer, FWD, climatic zoning, structural response, pavements.

**Recibido:** 23 de noviembre de 2009 • **Aprobado:** 08 de junio de 2010

## 1. ALCANCE

Para la realización de este estudio se cuenta con las mediciones del D1 (deflexión medida bajo el centro del plato de carga del deflectómetro de impacto) de treinta y dos diferentes puntos localizados en seis regiones geográficas y en

once zonas climáticas del país, para los cuales se conoce la estructura del pavimento (espesores) y materiales que los conforman.

El estudio comprende la comparación de la deflexión D1 obtenida mediante el deflectómetro de impacto, como medida indirecta del efecto

de reducción, producto de la humedad en la que se encuentran las capas granulares y suelos. El análisis de la variación estacional fue verificada para aquellos puntos en los que se realizaron mediciones en las distintas estaciones climáticas en el año, ya que de lo contrario, no sería posible evaluar la influencia de la variación de la humedad en la respuesta estructural del pavimento.

Se reconoce que la estructura del pavimento influye directamente en su respuesta estructural; estructuras *robustas* (de mayores espesores y módulos resilientes altos) presentarán deflexiones menores.

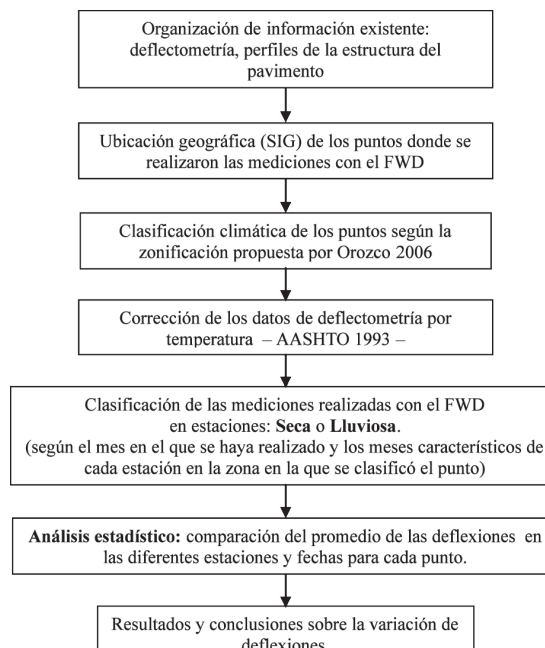
Se considerará en este estudio el espesor de la carpeta asfáltica, que se toma en cuenta para realizar los cálculos necesarios para corregir los datos de deflectometría por temperatura. El método utilizado para realizar la corrección por temperatura es el propuesto por el *Asphalt Institute* y la guía de diseño (AASHTO, 1993) el cual toma en cuenta el espesor de la carpeta, la temperatura de la superficie y la del aire.

Para definir si existe variación en los valores de las deflexiones medidas en diferentes estaciones climáticas, se emplearán herramientas estadísticas para comparar los promedios de las deflexiones medidas cada 10 m con el sensor D1, en un tramo de 220 m para cada punto de análisis, distribuidos en las distintas regiones del país y ubicados cerca de estaciones meteorológicas.

## 2. METODOLOGÍA

Para realizar esta investigación se procedió a seguir la secuencia de actividades mostrada en la Figura 1.

Para ubicar la ubicación de los puntos evaluados con el deflectómetro de impacto, el LanammeUCR cuenta con una base de datos de resultados del deflectómetro de impacto (FWD) recopilados en treinta y dos puntos localizados en seis regiones geográficas del país, en los cuales



**Figura 1.** Metodología utilizada.

Fuente: (El autor y la autora).

se realizaron diferentes campañas de medición, en diferentes épocas, entre el 2003 y el 2006.

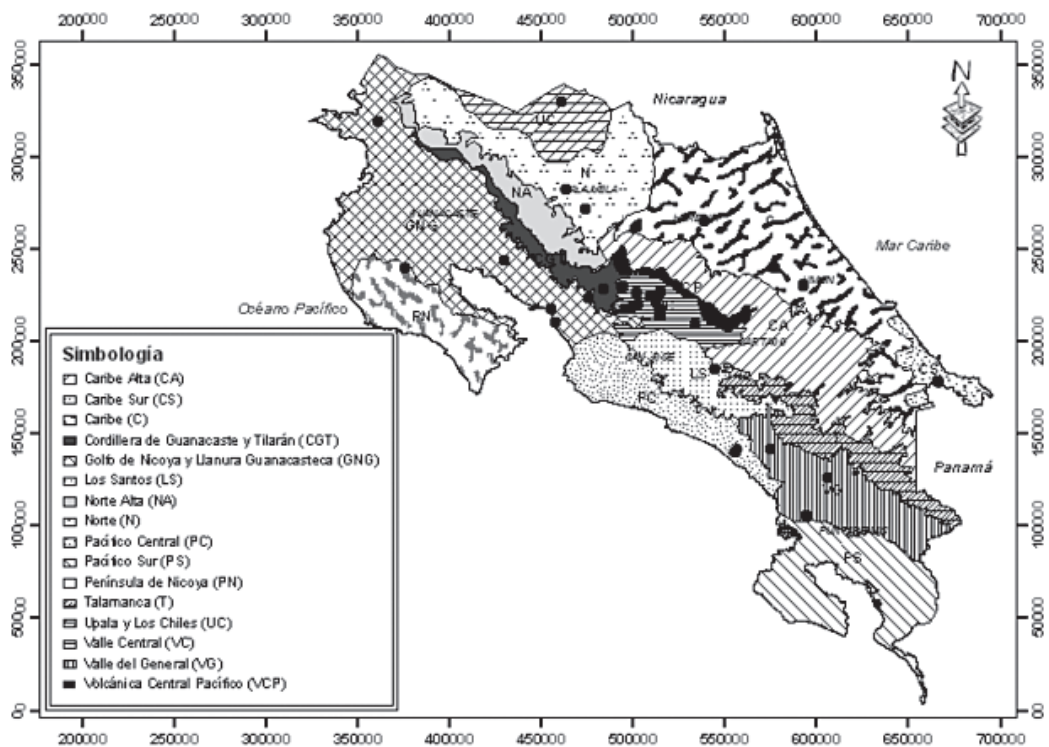
Para cada uno de los puntos seleccionados, se realizó una excavación a cielo abierto para determinar los espesores de cada una de las capas, además, se realizaron ensayos de laboratorio a los materiales constituyentes. La metodología de medición consistió en hacer ensayos con el deflectómetro de impacto (FWD) cada 10 m. Estos ensayos se hicieron 120 m antes y 120 m después del punto donde se realizó la excavación. Para los materiales de la base, subbase y subrasante se hicieron ensayos de: Próctor (estándar y modificado), límites de Atterberg, granulometrías, CBR.

Como primer paso se procedió a realizar la ubicación geográfica de los treinta y dos puntos y posteriormente asignarle las características climáticas correspondientes a la zonificación climática propuesta por (Orozco, 2007); en el Cuadro 1 se presenta un resumen de la

zonificación climática propuesta para Costa Rica, así como los meses característicos para cada estación por zona climática.

Para realizar el análisis de los datos se consideró que la condición predominante para los meses de transición era la correspondiente a la estación inmediatamente anterior. Por ejemplo, en el caso de la Zona Climática CGT, se tiene que abril es el mes de transición de la estación seca a la lluviosa, por lo tanto se considera para el análisis, que abril conserva las características de la estación seca. Por otro lado, diciembre es el mes de transición de la estación lluviosa a la seca, por lo tanto se considera que diciembre conserva las características de la estación lluviosa.

En la Figura 2 se muestra la ubicación de los puntos en las distintas zonas climáticas. Con base en la Figura 2 y el Cuadro 1 es posible definir la estación seca y la estación lluviosa en la que fueron tomados los datos de deflectometría para



**Figura 2.** Ubicación de puntos para las zonas climáticas definidas por (Orozco, 2007).

Fuente: (El autor y la autora).

**Cuadro 1.** Zonas climáticas de Costa Rica y meses característicos.

Zona	Símbolo	Época seca	Época de transición	Época lluviosa
Caribe	C		setiembre	marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Caribe Alta	CA		setiembre	marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Cordillera Guanacaste - Tilarán	CGT	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Caribe Sur	CS		marzo, setiembre	abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Golfo Nicoya - Llanura Guanacaste	GNG	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Los Santos - Caribe Alta	LS	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Norte	N	-	marzo	abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero
Norte Alta	NA	marzo	febrero, abril	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero
Pacífico Central	PC	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Península de Nicoya	PN	diciembre, enero, febrero, marzo	abril, noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Pacífico Sur	PS	enero, febrero, marzo	abril	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre
Talamanca	T	enero, febrero, marzo	diciembre	abril, mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Upala y Los Chiles	UC	enero, febrero, marzo, abril	diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Valle Central	VC	diciembre, enero, febrero, marzo, abril	finales abril, principio noviembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre
Volcánica Central Pacífico	VCP	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre
Valle del General	VG	enero, febrero, marzo	abril, diciembre	mayo, junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre

**Fuente:** (El autor y la autora).

cada uno de los puntos, el resumen se presenta en el Cuadro 2.

Como se puede observar en el Cuadro 1, es de esperar que para algunas zonas, a pesar de que se realicen mediciones en distintos meses del año, como se observa en el Cuadro 2, todas las mediciones correspondan a meses lluviosos. Esto se debe a que en algunas de estas regiones la época lluviosa comprende la totalidad del año o un gran porcentaje de este.

**2.1. Corrección de deflectometría por temperatura**

El Instituto de Asfalto estableció un método para la corrección de las deflexiones en función de la temperatura de la capa asfáltica. El procedimiento consiste en:

1. *Determinar la temperatura promedio de la capa asfáltica:* Para ello se supone un gradiente lineal de temperatura; por la tanto, la temperatura media de la capa asfáltica será el promedio entre la temperatura superficial

y la de la fibra inferior. La temperatura del pavimento viene dada por la ecuación (1).

$$t_{\text{pavimento}} = \frac{1}{2} (t_{\text{sup.pav}} + t_{\text{inf.pav}}) \quad (1)$$

Donde:

- $t_{\text{pavimento}}$  temperatura promedio del pavimento (°C)
- $t_{\text{sup.pav}}$  temperatura de la superficie del pavimento en el ensayo (°C)
- $t_{\text{inf.pav}}$  temperatura en la fibra inferior del pavimento (°C), estimada de la Figura 3.

Nótese que es necesario conocer la temperatura superficial del pavimento en el ensayo y la temperatura media del aire de los 5 d previos al ensayo, así como el espesor de la capa asfáltica.

2. *Determinar el factor de corrección por temperatura:* Utilizando el valor de la temperatura promedio de la capa calculado anteriormente, se determina el factor de corrección por temperatura, para ello se

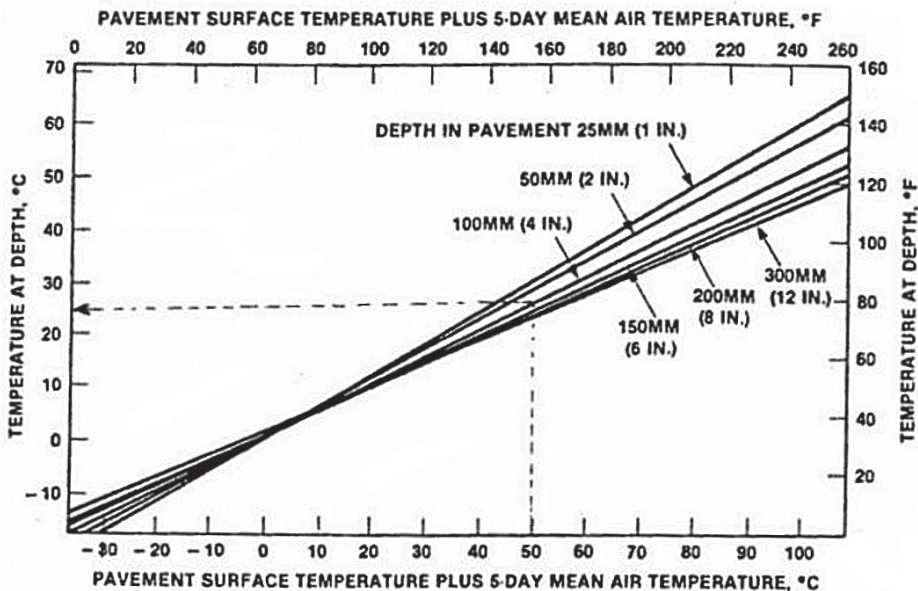


Figura 3. Temperatura en función del espesor de la capa asfáltica  
Fuente: (Asphalt Institute, s.f.).

**Cuadro 2.** Resumen de mediciones realizadas con el FWD.

<b>Punto</b>	<b>Fechas FWD</b>	<b>Estación</b>	<b>Región climática</b>
<b>Punto 1.</b> <b>Monterrey - Jicarito</b>	21-10-03	Lluviosa	Norte
	20-01-04	Lluviosa	
	20-10-04	Lluviosa	
	25-01-05	Lluviosa	
	25-04-06*	Lluviosa	
<b>Punto 2.</b> <b>Aguas Zarcas - Venecia</b>	22-10-03	Lluviosa	Caribe
	21-01-04	Lluviosa	
	19-10-04	Lluviosa	
	24-01-05	Lluviosa	
	24-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 3.</b> <b>Tanque - Florencia</b>	22-10-03	Lluviosa	Norte
	20-01-04	Lluviosa	
	20-10-04	Lluviosa	
	25-01-05	Lluviosa	
	25-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 4.</b> <b>Ciudad Quesada - Los Chiles</b>	22-10-03	Lluviosa	Upala - Los Chiles
	21-01-04	Seca	
	19-10-04	Lluviosa	
	24-01-05	Seca	
	24-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 5.</b> <b>Cerro de la Muerte, km 56</b>	03-11-04	Lluviosa	Los Santos
	22-04-05	Seca	
	07-08-06*	Lluviosa	
<b>Punto 6.</b> <b>Barú - Dominical</b>	10-10-03	Lluviosa	Pacífico Central
	02-11-04	Lluviosa	
	07-04-05	Seca	
	07-08-06*	Lluviosa	
	10-10-03	Lluviosa	
<b>Punto 7.</b> <b>Juntas Pacuar - San Isidro</b>	03-11-04	Lluviosa	Valle del General
	08-04-05	Seca	
	08-08-06*	Lluviosa	
	10-10-03	Lluviosa	
<b>Punto 8.</b> <b>Buenos Aires - Juntas del Pacuar</b>	02-11-04	Lluviosa	Valle del General
	07-04-05	Seca	
	08-08-06*	Lluviosa	

\* Nota: Las fechas marcadas con asteriscos no poseen información de la temperatura del pavimento en el momento de la realización de las mediciones, por lo cual fueron descartadas para el análisis.

Fuente: (El autor y la autora, 2009).

**Cuadro 2.** Resumen de mediciones realizadas con el FWD (continuación).

<b>Punto</b>	<b>Fechas FWD</b>	<b>Estación</b>	<b>Región climática</b>
<b>Punto 9.</b> <b>Río Claro - Palmar Norte</b>	10-10-03	Lluviosa	Valle del General
	02-11-04	Lluviosa	
	07-04-05	Seca	
	07-08-06*	Lluviosa	
	27-01-04	Lluviosa	
<b>Punto 10.</b> <b>Guápiles - Sarapiquí</b>	22-10-04	Lluviosa	Caribe
	02-02-05	Lluviosa	
	12-07-06*	Lluviosa	
	28-01-04	Lluviosa	
<b>Punto 11.</b> <b>Siquirres - Guácimo</b>	22-10-04	Lluviosa	Caribe
	02-02-05	Lluviosa	
	12-07-06*	Lluviosa	
	27-01-04	Lluviosa	
<b>Punto 12.</b> <b>Siquirres - Limón</b>	21-10-04	Lluviosa	Caribe
	26-01-05	Lluviosa	
	12-07-06*	Lluviosa	
	28-01-04	Lluviosa	
<b>Punto 13.</b> <b>Bribri - Sixaola</b>	21-10-04	Lluviosa	Caribe Sur
	26-01-05	Lluviosa	
	13-07-06*	Lluviosa	
	13-03-02	Seca	
<b>Punto 14.</b> <b>Manolos - La Garita</b>	03-11-03	Lluviosa	Valle Central
	13-10-04	Lluviosa	
	20-04-05	Seca	
	17-07-06*	Lluviosa	

\* Nota: Las fechas marcadas con asteriscos no poseen información de la temperatura del pavimento en el momento de la realización de las mediciones, por lo cual fueron descartadas para el análisis.

Fuente: (El autor y la autora, 2009).

**Cuadro 2.** Resumen de mediciones realizadas con el FWD (continuación).

	13-03-02	Seca	
	03-11-03	Lluviosa	
<b>Punto 15.</b> <b>La Garita - Bajo Garita</b>	13-10-04	Lluviosa	Valle Central
	20-04-05	Seca	
	17-07-06*	Lluviosa	
	14-03-02	Seca	
<b>Punto 16.</b> <b>Bajo Garita - Atenas</b>	03-11-03	Lluviosa	
	13-10-04	Lluviosa	Valle Central
	20-04-05	Seca	
	17-07-06*	Lluviosa	
	01-08-02	Lluviosa	
	02-11-03	Lluviosa	
<b>Punto 17.</b> <b>Cacao - San Pedro de Poás</b>	25-11-04	Lluviosa	Valle Central
	27-04-05	Seca	
	10-07-06*	Lluviosa	
	01-08-02	Lluviosa	
	03-10-03	Lluviosa	
<b>Punto 18.</b> <b>Tacares - Grecia</b>	25-11-04	Lluviosa	Valle Central
	27-04-05	Seca	
	11-07-06*	Lluviosa	
	07-08-02	Lluviosa	
<b>Punto 19.</b> <b>Alajuela - San Antonio</b>	15-10-04	Lluviosa	Valle Central
	18-05-05	Lluviosa	
	28-07-06*	Lluviosa	
	28-10-04	Lluviosa	
<b>Punto 31.</b> <b>Esparza - San Ramón</b>	25-04-05	Seca	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	18-07-06*	Lluviosa	
	04-11-04	Lluviosa	
<b>Punto 32.</b> <b>Caldera - Orotina</b>	26-04-05	Seca	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	20-07-06*	Lluviosa	

\* Nota: Las fechas marcadas con asteriscos no poseen información de la temperatura del pavimento en el momento de la realización de las mediciones, por lo cual fueron descartadas para el análisis.

Fuente: (El autor y la autora, 2009).



**Cuadro 2.** Resumen de mediciones realizadas con el FWD (continuación).

<b>Punto</b>	<b>Fechas FWD</b>	<b>Estación</b>	<b>Región climática</b>
<b>Punto 20.</b> <b>San Rafael - San Antonio</b>	08-08-02	Lluviosa	Valle Central
	14-10-04	Lluviosa	
	18-05-05	Lluviosa	
	28-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 21.</b> <b>Alajuela - Itiquís</b>	14-03-02	Seca	Valle Central
	01-10-03	Lluviosa	
	11-10-04	Lluviosa	
	21-04-05	Seca	
	10-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 22.</b> <b>Itiquís - San Isidro</b>	14-03-02	Seca	Valle Central
	01-10-03	Lluviosa	
	11-10-04	Lluviosa	
	21-04-05	Seca	
	10-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 23.</b> <b>Int. Ruta 1 - Naranjo</b>	07-08-02	Lluviosa	Valle Central
	21-10-03	Lluviosa	
	05-11-04	Lluviosa	
	27-04-05	Seca	
	11-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 24.</b> <b>San Ramón- Puntarenas</b>	05-11-04	Lluviosa	Cordillera Guanacaste Tilarán
	27-04-05	Seca	
	18-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 25.</b> <b>Florencio del Castillo</b>	26-11-04	Lluviosa	Valle Central
	22-04-05	Seca	
	14-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 26.</b> <b>Próspero Fernández</b>	26-11-04	Lluviosa	Valle Central
	29-03-05	Seca	
	14-04-06*	Lluviosa	
<b>Punto 27.</b> <b>Nicoya - Santa Cruz</b>	29-10-04	Lluviosa	Península Nicoya
	26-04-05	Seca	
	19-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 28.</b> <b>Liberia - La Cruz</b>	28-10-04	Lluviosa	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	25-04-05	Seca	
	18-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 29.</b> <b>Arizona - La Irma</b>	28-10-04	Lluviosa	Golfo Nicoya Llanura Guanacasteca
	25-04-05	Seca	
	18-07-06*	Lluviosa	
<b>Punto 30.</b> <b>La Cárcel (Puntarenas) - Caldera</b>	04-11-04	Lluviosa	Golfo Nicoya Llanura Gua- nacasteca
	26-04-05	Seca	
	20-07-06*	Lluviosa	

\* Nota: Las fechas marcadas con asteriscos no poseen información de la temperatura del pavimento en el momento de la realización de las mediciones, por lo cual fueron descartadas para el análisis.

Fuente: (El autor y la autora, 2009).

utiliza la Figura 4, conforme a lo establecido en el método de la (AASHTO, 1993).

Finalmente, la deflexión máxima corregida de la deflectometría de impacto es calculada utilizando la ecuación (2).

$$d_{\max 20^{\circ}\text{C}} = d_{\max \text{ ensayo}} \cdot F_{\text{ajtemp}} \quad (2)$$

donde:

$d_{\max 20^{\circ}\text{C}}$  deflexión corregida a la temperatura estándar de 20 °C

$d_{\max \text{ ensayo}}$  deflexión medida a la temperatura superficial del pavimento en el ensayo

$F_{\text{ajtemp}}$  factor de ajuste por temperatura

## CONCLUSIONES

Teniendo en consideración cada una de las regiones climáticas, se realizó un análisis estadístico de comparación de promedios de las deflexiones en las diferentes estaciones y fechas para cada uno de los puntos, obteniéndose las siguientes conclusiones.

1. La variación estacional de módulos para una estructura de pavimento se debe a cambios en el contenido de humedad de las capas granulares y suelos, por lo tanto se espera que aquellas estructuras que son sometidas a cambios más marcados de humedad presenten las variaciones más significativas. Por el contrario, zonas donde no existen cambios importantes en la humedad, no presentarán cambios importantes. Esta variación estacional de módulos se verá reflejada, con las deflexiones medidas por el equipo utilizado para valorar la capacidad estructural, llamado deflectómetro de impacto (FWD).
2. Con base en lo anterior y en el análisis realizado, se logró comprobar que los puntos ubicados en las zonas climáticas: Caribe, Caribe Sur y Caribe Norte, no presentan variaciones significativas en las deflexiones. Esto se puede atribuir a que en estas zonas se presentan once o doce meses de estación lluviosa, por lo tanto no existen variaciones importantes de humedad. Por su parte, la región Upala-Los Chiles, si bien presenta un mayor número de meses catalogados

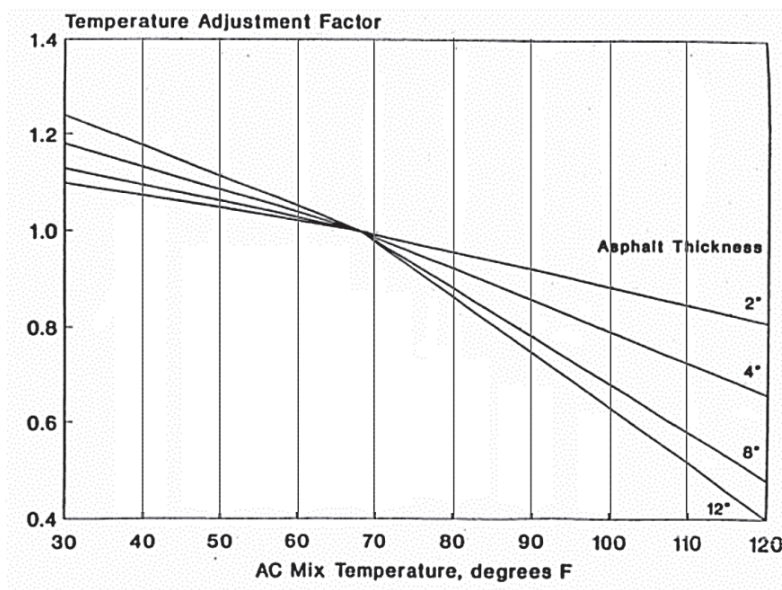


Figura 4. Factor de corrección por temperatura en función del espesor de la capa asfáltica. Fuente: (AASHTO, 1993).

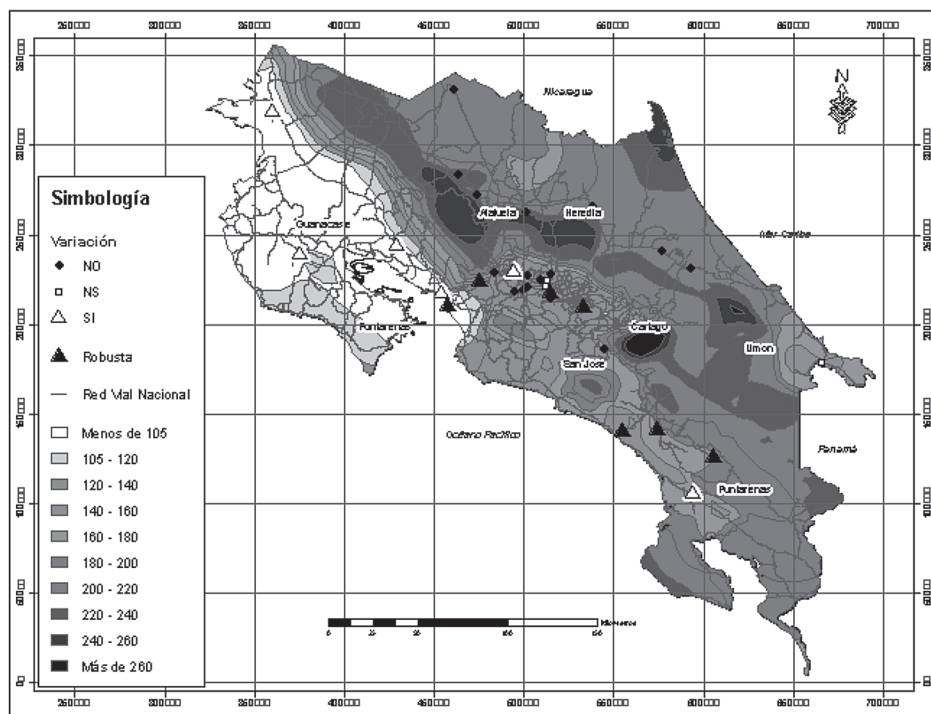


Figura 5. Ubicación de los puntos para los días de lluvia.

Fuente: (Orozco, 2006).

- como secos (cuatro meses) la condición predominante en esta zona es de alta humedad, razón por la cual no se presentan variaciones significativas en las deflexiones.
3. El caso contrario ocurre en las regiones Golfo de Nicoya, Llanura Guanacasteca y Península de Nicoya, las cuales se caracterizan por la presencia de estaciones climáticas bien marcadas, donde se reflejan variaciones significativas de las deflexiones promedio. Por lo tanto y con base en lo anterior, se concluye que en estas zonas existe un efecto significativo de la estación climática seca o lluviosa, según corresponda.
  4. En el caso específico de la Región Valle Central, dentro de los puntos analizados se presentan estructuras cuyas deflexiones son significativamente diferentes, así como estructuras para las cuales las deflexiones no lo son, siendo esta segunda condición la más generalizada; no obstante, para este segundo grupo sí se nota una tendencia en la reducción de las deflexiones en época seca respecto a la época lluviosa. Con base en lo anterior, se recomienda tomar en cuenta la estación climática para la medición de las deflexiones en el Valle Central.
  5. Para la región Pacífico Central, el análisis muestra que no existen diferencias significativas entre las deflexiones medidas en época lluviosa y seca. Este resultado puede deberse a que solo se estudió una estructura con deflexiones muy bajas, las cuales tienden a no presentar diferencias entre la época lluviosa y época seca, por lo que para estructuras con mayores deflexiones podrían ser más evidentes las diferencias. Por lo anterior, se recomienda para esta región tomar en cuenta la estación

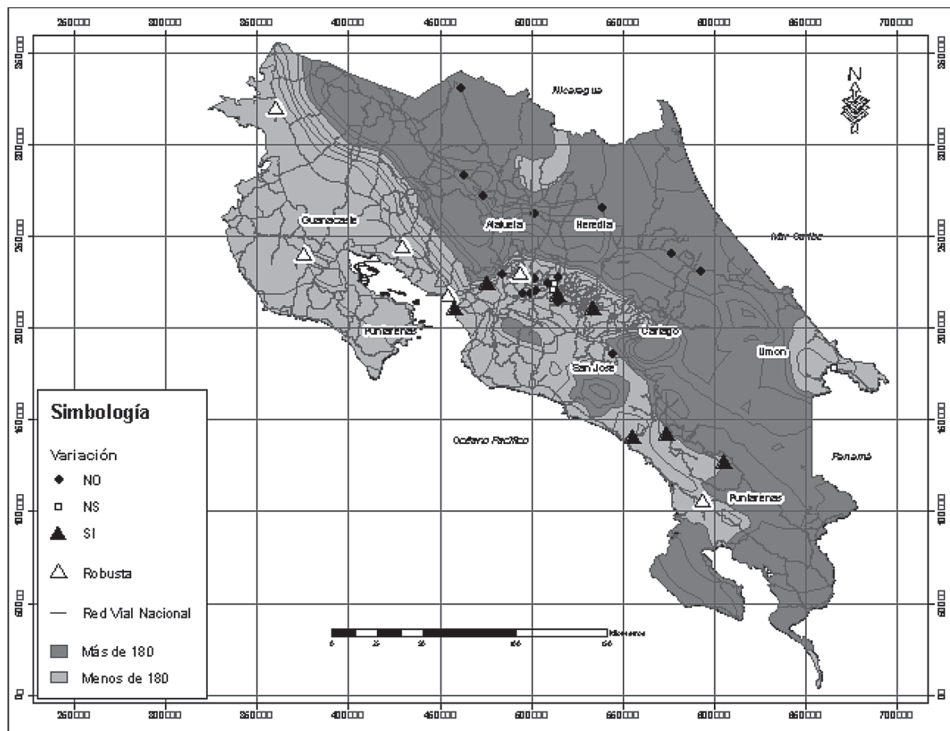


Figura 6. Zonas con más de 180 d de lluvia en el año.

Fuente: (Orozco, 2006).

durante las mediciones, hasta no verificar lo contrario con mayor número de puntos.

6. Para la región Los Santos se evaluó un punto ubicado en la Ruta 2, el cual no presenta diferencias significativas entre los promedios de deflexión para la época lluviosa y seca, sin embargo, por la variación en microclimas presentes en esta zona se recomienda tomar en cuenta la época del año en que se realizan las evaluaciones.
7. En el caso de la región Valle del General, dados los resultados se recomienda tomar en cuenta la época lluviosa para las evaluaciones de deflectometría.
8. De acuerdo con los resultados obtenidos, todas aquellas rutas con deflexiones menores a  $25 \text{ mm}^{-2}$ , no presentan diferencias significativas entre la estación seca y lluviosa, indistintamente de la Región en la que se encuentren. Por lo tanto, se puede concluir que para estructuras robustas la variación

estacional de módulos no es significativa desde el punto de vista de las deflexiones medidas mediante el FWD. En la Figura 5 estas se distinguen con triángulos negros y están ubicadas, en su mayoría, en el Valle Central y en la Zona Sur.

9. Comparando los resultados obtenidos con la precipitación (días de lluvia en el año) para los puntos evaluados, se concluye que aquellos puntos que no presentaron diferencias significativas entre los resultados, son los que se encuentran en zonas con más de 180 d de lluvia del año (50 % días de lluvia). Esta información se puede observar en la Figura 6.

## RECOMENDACIONES

1. En las zonas climáticas: Caribe Alta, Norte Alta, Pacífico Sur, Talamanca y Volcánica Central Pacífica no existen puntos de

- evaluados, por lo tanto se recomienda incluir algunos para analizar el comportamiento de las deflexiones en estas zonas a lo largo del año.
2. Es necesario que los puntos que vayan a ser sujetos de estudio, cuenten con información lo más completa posible sobre sus características básicas (temperatura, precipitación, estructura –espesor y materiales-, tránsito).
  3. Es importante que se dé un seguimiento sistemático a cada punto de evaluación, de manera que se monitoreen periódicamente las deflexiones, así como cualquier cambio que pueda influir en la respuesta estructural del pavimento.
  4. Para un futuro estudio sería recomendable realizar un análisis que permita correlacionar las estructuras –espesor y materiales- con la variación de las deflexiones, bajo las diferentes condiciones de temperatura y humedad que se presenten.
  5. Es conveniente incluir en estudios posteriores, retrocálculos de módulos que permitan concluir (según la estación climática del año) cómo varían los módulos de los distintos materiales dentro de la estructura del pavimento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1993). *AASHTO Guide for design of pavement structures 1993*. Washington, D. C.
- Asphalt Institute. (s.f.) *Asphalt overlays for highway and street rehabilitation*. Manual Series No. 17 (MS-17). Lexington, Kentucky.
- Badilla, G. & Sibaja, D. (2008). *Análisis de resultados de deflectometría de impacto*

(FWD) para la evaluación de la respuesta estructural de los pavimentos para diferentes épocas del año en la red vial de Costa Rica. San José: Universidad de Costa Rica, Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

- Orozco, E. (2006). *Zonificación climática de Costa Rica la gestión de obras viales*. Proyecto para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## SOBRE EL AUTOR Y LA AUTORA

### **Gustavo A. Badilla Vargas**

Ingeniero civil. Licenciado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales  
Unidad de Investigación en Infraestructura Vial (UI)  
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,  
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica  
Teléfono: (506) 2511-4994  
Facsímil: (506) 2511-4442  
Correo electrónico: gustavo.badilla@ucr.ac.cr

### **Denia Sibaja Obando**

Ingeniera civil.  
Licenciada en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica  
Soporte técnico, caminos  
Proyecto Hifroeléctrico Ampliación Cachí Cachí, Cartago  
Teléfono: (506) 8847-3432 / 2558-1500 ext.9003  
Correo electrónico: DeSiba@ice.go.cr

